



**UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA
DEL ESTADO DE PUEBLA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ECOLOGICA
Y PROTECCION AMBIENTAL**

**ESTABILIZACION Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES ACIDAS Y
CONTAMINADAS POR CROMO (AR-Cr), PROCEDENTES DE LA
DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS.**

TESIS PROFESIONAL

Requisito para obtener el Título de:

INGENIERO ECOLOGO

PRESENTA:

Jesús Eduardo Farret Vásquez

Puebla, Pue.

Septiembre 2003



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Suelos y Bromatología, de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP); durante el periodo escolar: otoño 2002- primavera 2003, bajo la dirección de la Q.A. Sara Ramírez Marañón.



19 de septiembre de 2003

Asunto: Tesis concluida

Dr. Rafael Rangel González
Director del Departamento de Ingeniería

Por este conducto me permito informarle a usted que se ha procedido a las revisiones y correcciones correspondientes al documento de tesis titulado **“Estabilización y disposición de aguas residuales ácidas y contaminadas por cromo, procedentes de la determinación de materia orgánica en suelo”**.

Realizada por el aspirante a Ingeniero Ecólogo **Jesús Eduardo Farret Vásquez** con matrícula 210127, debido a lo cual como directora de dicho documento, considero que la investigación cuenta con las herramientas académicas y técnicas necesarias para su impresión definitiva, sin más por el momento y los fines que al interesado convengan.

Atentamente
“La Cultura al Servicio del Pueblo”

Q.A. Sara Ramírez Marañón
Catedrático Departamento de Ingeniería

DEDICATORIAS:

A Dios por brindarme la experiencia de vivir. Por darme la oportunidad de nacer en la familia a la cual pertenezco; por esos grandes retos que me has puesto a lo largo de mi vida, que me han enseñado a ser cada día mejor y sobre todo por enseñarme que las caídas no son para quejarse, sino para aprender a levantarse.

A mis padres Ana María y Jesús, por todo ese apoyo incondicional (moral y económico) que me han brindado. Por creer en mí, por esa confianza, cariño, dedicación. Es lo menos que puedo hacer en agradecimiento a todo lo que me han enseñado y han hecho por mí a lo largo de mi vida. Mami gracias por esa fortaleza que has demostrado y nos has brindado, realmente eres lo que mas quiero y admiro en mi vida.

A mi hermana Ana Bertha por ser parte de mi vida.

A mis Abuelos, tíos y Primos por todo ese amor y cariño que me han demostrado, por todas las experiencias que hemos vivido juntos, gracias por sus consejos, por su apoyo incondicional, no tengo palabras para describir todo lo que siento por ustedes.

A mis amigos y compañeros: Brenda, Carlos, Luis, Mariana, Marisol, Sandra, Salvador, por ser mi familia putativa, durante cinco años y porque que este es un logro, sueño y esfuerzo unánime.

A mis amigos y compañeros: Brenda, Carlos, Luis, Mariana, Marisol, Sandra, Salvador, por ser mi familia putativa, durante cinco años y porque que este es un logro, sueño y esfuerzo unánime.

A todas las personas que formaron parte de mi formación y desenvolvimiento escolar a lo largo de toda mi vida, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS:

A la Q.A. Sara Ramírez Marañon, por brindarme la oportunidad, las facilidades, al igual que el apoyo necesario para realizar esta investigación; gracias por creer y depositar toda su confianza en mí.

Al Ing. Raciél Flores Quijano, por brindar el apoyo y la asesoría técnica para el buen desenvolvimiento de este documento de tesis.

Al Ing. Genoveva Rosano Ortega, por el apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación y el tiempo invertido en el análisis de las muestras.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), por facilitar los medios y equipos necesarios para el exitoso análisis de las muestras.

Y todos aquellos, que directa e indirectamente brindaron su apoyo para el buen desempeño de esta investigación.

I N D I C E

CAPITULO I

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Hipótesis.....	1
1.3 Objetivos.....	1
1.3.1 Objetivo General.....	1
1.3.2 Objetivos específicos.....	1
1.4 Justificación.....	2
1.5 Importancia del estudio.....	2
1.6 Tipo de investigación.....	3

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN DEL HUMUS EN EL SUELO.....	4
2.1.1 Naturaleza de la materia orgánica del suelo.....	7
2.1.1.2 Sustancias húmicas del suelo.....	8
2.1.1.3 Fulvoácidos del humus del suelo.....	10
2.1.2 Modificación de la composición química de los restos vegetales.....	11
2.1.3 Papel de la materia orgánica en la formación del suelo y en el mantenimiento de su fertilidad.....	12

2.2 ESTRUCTURA DEL AGUA.....	18
2.2.1 Propiedades del agua.....	20
2.2.2 Ionización del agua.....	23
2.2.3 Ósmosis.....	25
2.2.4 Sales minerales.....	27
2.3 GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS ENCONTRADOS EN EL AGUA RESIDUAL A TRATAR.....	31
2.3.1 Hierro.....	31
2.3.2 Sodio.....	34
2.3.3 Potasio.....	35
2.3.4 Fosfatos.....	36
2.3.5 Cromo.....	37
2.4 TOXICIDAD DEL CROMO.....	39
2.5 FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR CROMO.....	41
2.6 CROMO EN EL AMBIENTE.....	41
2.7 NORMATIVIDAD AMBIENTAL.....	43
2.8 TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS PROVENIENTES DEL CROMADO (Bazúa, 1994).....	45

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 DESARROLLO DE LA TECNICA DE ESTABILIZACION Y DISPOSICION DE LAS AR-Cr.....	46
3.1.1 Alimentación.....	48
3.1.2 Agitación.....	48
3.1.3 Alcalinización.....	49
3.1.4 Filtración.....	50
3.1.5 Cristalización.....	52
3.1.6 Deshidratación.....	53
3.1.7 Calcinación.....	54
3.2 SEPARACION E IDENTIFICACION DE CATIONES EN EL AR-Cr	
3.2.1 GRUPO I: Ag^{1+} , Pb^{2+} , Hg_2^{2+}	57
3.2.2 GRUPO II; subgrupo IIA: Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Bi^{3+} , Cd^{2+} y subgrupo IIB: As^{3+} , As^{5+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , Sn^{4+}	58
3.2.3 GRUPO III; subgrupo IIIA: Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} y subgrupo IIIB: Mn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+}	59
3.2.4 GRUPO IV: Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+}	60
3.2.5 GRUPO V: Na^+ , K^+ , NH_4^+	61
3.3 SEPARACION E IDENTIFICACION DE ANIONES EN EL AR-Cr	
3.3.1 GRUPO I: subgrupo IA: CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , ASO_2^- , PO_4^{3-} y subgrupo IB: $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ y F^-	63

3.3.2 GRUPO II: CrO_4^{2-} y SO_4^{2-}	65
3.3.3 GRUPO III: S^{2-} , $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ y $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	65
3.3.4 GRUPO IV: $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, SCN^- , Cr^- , Br^- y I^-	66
3.3.5 GRUPO V: NO_2^- , NO_3^- , ClO_3^- y BO_2^-	67

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

4.1 CATIONES.....	69
4.2 ANIONES.....	70

TABLAS RESULTANTES DEL ANÁLISIS DE LAS PARTÍCULAS

4.1 PARTICULA AMARILLA.....	73
4.2 ZONA GRIS LISA.....	74
4.3 PARTICULA NEGRA.....	75
4.4 PARTICULA CRISTALINA.....	76

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 RECOMENDACIONES.....	79
5.2 CONCLUSION.....	80

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	82
ANEXO.....	87
GLOSARIO.....	91

INDICE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química aproximada de organismos vegetales superiores e inferiores.....	11
Tabla 2.2 Contenido aproximado de materia orgánica oxidable, según el ecosistema.....	16
Tabla 2.3 Composición aproximada de aguas residuales.....	29
Tabla 2.4 Los principales contaminantes que deben ser removidos de las aguas residuales.....	30
Tabla 2.5 Principales aplicaciones industriales que se le dan al cromo.....	43
Tabla 2.6 Límites máximos permisibles en los efluentes de aguas residuales emitidas a acuíferos receptores mediante sistemas colectores municipales	44

INDICE FIGURAS

Fig. 2.1 Formación y estructura de la molécula del agua.....	19
Fig. 2.2 Formación de enlaces o puentes de hidrogeno de la molécula de agua.....	19
Fig. 2.3 Unión de 2 moléculas por puente de hidrogeno para formar agua líquida.....	20
Fig. 2.4 Disoluciones iónicas y disoluciones moleculares.....	21
Fig. 2.5 Capacidad disolvente del agua de aniones y cationes, dado que es una sustancia Anfótera.....	21

Fig. 2.6 Capilaridad del agua.....	22
Fig. 2.7 Disociación del agua.....	23
Fig. 2.8 pH de algunas soluciones.....	24
Fig. 2.9 Proceso osmótico.....	26
Fig. 2.10 Representación esquemática de la presión osmótica.....	26
Fig. 2.11 Diferencia esquemática entre el fenómeno de diálisis, difusión y ósmosis.....	27
Fig. 3.1 Vaso de precipitado con AR-Cr.....	48
Fig. 3.2 AR-Cr en la campana de extracción de vapores.....	49
Fig. 3.3 AR-Cr, en proceso de alcalinización con NaOH.....	50
Fig. 3.4 Filtración del AR-Cr.....	51
Fig. 3.5 Apariencia del sólido residual, finalmente filtrado.....	51
Fig. 3.6 Cristalización del filtrado.....	52
Fig. 3.7 Cristales hidratados.....	53
Fig. 3.8 Proceso de deshidratación de cristales.....	54
Fig. 3.9 Sólido residual, próximo a calcinación.....	55
Fig. 3.10 Mufla.....	55
Fig. 3.11 Sólido finalmente calcinado.....	56
Fig. 4.1 Sólido de aspecto rocoso.....	71
Fig. 4.2 Cristales deshidratados.....	71

R E S U M E N

El presente trabajo, se llevó a cabo con la finalidad de desarrollar una técnica prototipo, que propusiese tanto eficiencia y fiabilidad, como una tecnología económicamente rentable y amigable con el medio ambiente, para la estabilización y disposición de aguas residuales ácidas con cromo (AR-Cr), procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos por el método de Walkley- Black..

El agua residual que fue estabilizada, se encontraba almacenada en el Laboratorio de Suelos y Bromatología de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). La cual se encontraba contenida en recipientes de diferentes volúmenes, dando como resultado, un total de 75 L almacenados.

En general, el AR-Cr presentó pH promedio de 1.63 y un color verde esmeralda; del resultado de la caracterización química del AR-Cr, se determinó la existencia de aniones y cationes, tales como: fosfatos, sulfatos, sodio, potasio, cromo (III) y Hierro (III).

En base a la caracterización del AR-Cr, se optó por adicionar NaOH en escamas para precipitar las impurezas de cromo e hierro trivalente. Como resultado de esta separación, se obtuvo un producto en fase sólida de menor volumen, que permitió su fácil manejo y disposición así como la reducción de un residuo líquido, el cual potencialmente, pudiese ocasionar algún tipo de contaminación, por su vertimiento al drenaje municipal.

Por otra parte, el precipitado se sometió a tratamiento térmico a 800°C durante 2-2.5 hrs; para obtener óxidos mixtos de cromo y hierro, principalmente. Los cuales potencialmente podrían ser reutilizados.

Tecnológicamente, de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se espera que esta técnica, para la estabilización y disposición de aguas residuales ácidas contaminadas por cromo, se pueda incluir en los laboratorios de cualquier institución en donde se generen este tipo de residuos, que con frecuencia son vertidos a los sistemas colectores de drenaje municipal, ocasionando un impacto negativo al ambiente.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Desarrollar una técnica que permita estabilizar y disponer a las aguas residuales ácidas con cromo procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos, para evitar que éstas sean vertidas al drenaje.

1.2 HIPÓTESIS:

Es posible desarrollar una técnica prototipo que proponga tanto eficiencia y fiabilidad como una tecnología económicamente rentable y amigable con el medio ambiente para la estabilización y disposición de aguas ácidas con cromo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una técnica de estabilización y disposición de aguas residuales ácidas con cromo, procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Con el óptimo desempeño del material y equipo existente en un laboratorio de docencia universitaria, desarrollar una técnica de estabilización y disposición de agua residual ácida y contaminada por cromo, procedente de la determinación de materia orgánica en suelos.
- Caracterizar cualitativamente al agua residual ácida y contaminada por cromo, procedente de la determinación de materia orgánica en suelos, para identificar los aniones y cationes mayoritarios que la componen.
- Aislar al cromo y hierro del resto de los contaminantes.
- Minimizar el residuo líquido como subproducto de la técnica de disposición y estabilización de las aguas ácidas con cromo procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos.

1.4 JUSTIFICACION

En el Laboratorio de Suelos y Bromatología de la UPAEP, se realiza la determinación de materia orgánica en suelos por el método Walkley-Black, el cuál consiste en tomar una muestra de suelo, a la cuál, se le agrega $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potasio) 1N, H_2SO_4 (ácido sulfúrico) conc; H_3PO_4 (ácido fosfórico) conc; $FeSO_4$ (Sulfato ferroso) 0.5 N; dando como resultado un agua residual que contiene una serie de aniones y cationes entre ellos el cromo.

En sus compuestos naturales, el cromo presenta normalmente los estados de oxidación III y VI. Las formas altamente oxidadas de cromo son menos estables que las menos oxidadas.

Los efectos tóxicos del cromo están relacionados con su estado de oxidación, considerando que la forma trivalente es menos peligrosa y la forma hexavalente es tóxica y carcinogénica.

Dado que la UPAEP es una universidad responsable, preocupada por el medio ambiente y los problemas de contaminación ambiental ocasionados por factores antropogénicos, se ha dado a la tarea de motivar a sus estudiantes para investigar posibles soluciones a la gran problemática ambiental latente.

1.5 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

El mundo actual se enfrenta a grandes problemas ambientales, aunado a la problemática económica que impera, es preciso resolver o mitigar los problemas de contaminación ambiental con los recursos que cuente cada continente, país, estado, municipio o institución.

María del Carmen Bazúa Durán (1994), desarrolló una técnica para el tratamiento de los desechos provenientes del proceso del cromado, generando así una alternativa para el tratamiento de estos residuos.

Esta técnica “Reutilización de residuos ácidos de cromo: una metodología aplicable en ámbitos académicos e industriales”, sirvió como base para proponer y establecer una metodología para la estabilización y disposición de aguas residuales ácidas con cromo, procedentes de la determinación de la materia orgánica en suelos. Ya que en UPAEP hasta el momento no se trataban estos efluentes sólo eran confinados en el mismo laboratorio.

1.6 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Hernández Sampieri (1998), esta tesis abarca los siguientes estudios:

Exploratorio: Ya que hasta el momento no se ha abordado el problema que significa el vertimiento de aguas residuales procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos, al drenaje municipal; al igual que el desarrollo de una técnica para su estabilización y, por lo tanto, resulta un tema contemporáneo y de gran interés para aquellos que hagan uso de estos agentes.

Descriptivo: Dado que en el transcurso del presente trabajo se definen los pasos que integran la técnica propuesta para la estabilización de estas aguas residuales.

Explicativo: Porque este estudio va más allá de una simple descripción de los conceptos y sus relaciones entre sí, es decir, tiene como objetivo principal la resolución de un problema latente hasta el momento, relacionado con la no estabilización de aguas residuales contaminadas por cromo en determinación de materia orgánica en suelos, generando así una respuesta certera y sobre todo tangible a este gran problema de contaminación acuífera.

2.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN DEL HUMUS EN EL SUELO

El principio de las investigaciones sistemáticas de la naturaleza química de las sustancias húmicas se inicia en la primera mitad del siglo XIX.

Sprengel (1826, 1837), realiza las primeras descripciones detalladas y el análisis de ácido húmico. Así, al ácido húmico poco soluble en álcali lo llama "*carbón húmico*". (Cit. en: Romera, 2003).

Berzelius, (1839) descubrió los ácidos crénico y apocrénico. (Cit. en Romera, 2003).

Mulder (1861-62), sistematizó las materias húmicas según el color y su solubilidad en agua y soluciones alcalinas. (Cit. en Blatta, 2000).

Los descubrimientos de Pasteur fueron muy importantes para el desarrollo de la microbiología. De este modo, ya en el último cuarto del siglo pasado, se estableció que la formación del humus representa un ciclo biológico que se debe a la actividad de los seres vivos, tanto microorganismos como representantes del mundo animal. Los trabajos de Schloesing (1876), Kostichev (1889), Wollny (1897), Deherain (1884), etc., esclarecen la influencia que sobre estos procesos bioquímicos ejercen los parámetros de temperatura, humedad, aireación, etc. (Cit. en Englewood Cliffs. (2003).

En aquel periodo Dokuchaev y Kostichev asientan las bases de los Suelos y de la Agronomía y sus trabajos hasta hoy día conservan su importancia para la investigación del proceso de humificación de los restos vegetales.

Es en el siglo XX cuando verdaderamente se ponen de manifiesto las divergencias de principios en los puntos de vista sobre la naturaleza del humus del suelo.

Algunos investigadores consideraban las materias húmicas como un grupo de compuestos naturales peculiares, cuya formación es debida a complejos procesos de transformación de restos orgánicos. Otros las tomaban por productos artificiales que se originaban al tratar el suelo con soluciones alcalinas, las cuales se emplean para la extracción de dichas materias.

El humus se consideraba sólo como una mezcla de compuestos orgánicos de naturaleza individual que son productos de descomposición de restos de origen animal y vegetal.

Los investigadores americanos Schreiner y Shorey (1908-1911) contribuyeron al desarrollo de este último punto de vista y extrajeron del suelo y del conjunto de materias húmicas una serie de compuestos orgánicos de naturaleza individual, pertenecientes a distintos grupos conocidos en la química orgánica (grasas, ácidos orgánicos, hidratos de carbono, compuestos orgánicos fosforados y nitrogenados y otros). (Cit. en Blatta, 2000).

Por otro lado el científico sueco S. Oden (1919, 1922) sistematizó las materias húmicas propiamente dichas en cuatro grupos: carbón húmico, ácido húmico, ácido himatomelánico y fulvoácidos; a estos últimos los consideraba análogos a los ácidos crénico y apocrénico de Berzelius. Pero esta sistematización se hizo empleando los síntomas antiguos (diferencias en el color y relación a los disolventes agua, alcohol y álcali), que evidentemente eran insuficientes. (Cit. en Romera, 2003).

Posteriormente, Shmuk (1914-1930) considera los ácidos húmicos como parte más característica del humus y que éstos no eran compuestos de naturaleza individual, sino un grupo de sustancias con características comunes de estructura, lo cual se aproxima bastante a los conceptos actuales. También formuló el concepto de los ácidos húmicos como suspensiones altamente dispersas, que están como en el límite entre los coloides y cristaloides, pero que al mismo tiempo poseen una serie de síntomas típicos propios de las sustancias en estado coloidal: capacidad de precipitarse por los electrolitos, propiedades de adsorción, tendencia a hincharse, etc. Sus estudios sobre las formas del nitrógeno de los ácidos húmicos son destacables y cabe mencionar que este científico determinó los principales aminoácidos característicos de las sustancias proteicas. Shmuk consideraba que el nitrógeno del suelo es de origen secundario, ya que su fuente es el plasma de los microorganismos. Así, encontramos en la obra de Shmuk el desarrollo de la idea de Kostichev sobre la participación de elementos del plasma microbiano en la formación de las sustancias húmicas. (Cit. en Romera, 2003).

Kravkov (1906) estableció el gran papel de los compuestos orgánicos solubles en agua de los restos vegetales en los procesos de formación del suelo, en particular en los fenómenos de lixiviación de elementos minerales de los suelos y en la formación de sustancias húmicas. Esta idea fue desarrollada por Kravkov y otros en años posteriores Kravkov (1938).

Los trabajos de Williams sobre el humus del suelo (1939), hacían pensar que el cultivo era uno de los procedimientos principales para elevar la fertilidad del suelo, basando la utilidad de dicho procedimiento preferentemente en la formación de una estructura resistente al agua, que garantiza la creación de condiciones de régimen nutricional e hidro-aéreo óptimas para la planta. (Cit. en Blatta, 2000).

Waksman en sus investigaciones (1933) llegó a la conclusión de que las sustancias de fácil descomposición (celulosa, hidratos de carbono simples y otros) juegan un papel

insignificante en la formación del humus; la fuente principal de las sustancias húmicas son, en primer lugar, lignina de los tejidos vegetales y, en segundo, las proteínas resintetizadas en forma de plasma microbiano. (Cit. en Blatta, 2000).

En la antigua Unión Soviética, Tyurin realizó los esquemas de análisis de la composición del humus que incluían la determinación de sustancias específicas de suelos: ácidos húmicos, fulvoácidos y huminas. La aplicación de estos esquemas permitió revelar las diferencias características en la composición del humus de los principales tipos y subtipos de suelos.

No se confirmó la idea sobre la lignina como fuente principal de los ácidos húmicos; en muchos trabajos fue establecida la posibilidad de su formación por descomposición de distintas sustancias vegetales, igual que a cuenta de los productos de la actividad vital y metabolismo de los microorganismos (Soroquina y Tiani-Riadno, 1933; Mishustin, 1938; Guelster, 1940; Ripel, 1935). (Cit. en Romera, 2003).

En los distintos suelos, las reservas de humus, la composición de las materias húmicas, y su naturaleza, son considerablemente distintas.

Mediante estudios comparativos se estableció que el proceso de formación del humus está determinado por el complejo de condiciones del medio suelo, y se concretó el papel de las sustancias húmicas en relación con cada uno de los suelos.

Continuando con el estudio de las materias húmicas de naturaleza individual, se vislumbró su participación en la nutrición vegetal, así como en la erosión de minerales y rocas, en la formación del podsol, y otros procesos. Esto es debido a que las materias húmicas, son una serie de ácidos producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica; estos ácidos pueden penetrar en el interior de las rocas, ocasionando una serie de rupturas en las mismas, las cuales están constituidas de una serie de minerales mezclados, descomponiendo sus estructuras en las especies de minerales aisladas que las constituyen, para dar así la aparición o formación de un suelo, que tiene como objetivo aportar nutrientes a la vegetación que en éste se encuentre, tales como óxidos de: silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, potasio. (Thompson, 1962).

También atrajeron la atención cuestiones relacionadas con el origen de las sustancias húmicas y el mecanismo de su formación llegando a la conclusión de que la formación de estas sustancias se debe a transformaciones complejas de los restos orgánicos iniciales de origen animal y vegetal, y que tanto las sustancias vegetales aprovechadas en mayor o menor grado por los microorganismos, pueden ser fuentes originarias de unidades estructurales, de las cuales se forman las moléculas de las sustancias húmicas. Además como unidades estructurales pueden servir no sólo los productos de descomposición de los

restos orgánicos, sino también los productos del metabolismo y síntesis de los microorganismos. El papel más importante en la condensación de las unidades estructurales pertenece a los fermentos oxidantes de origen microbiano.

2.1.1 Naturaleza de la materia orgánica del suelo

Toda la variedad de sustancias orgánicas del suelo puede ser sistematizada en dos grupos fundamentales: las materias orgánicas de naturaleza individual y las sustancias húmicas propiamente dichas.

El primer grupo está formado por restos orgánicos, y representa los productos de su descomposición o los productos de la actividad vital (metabolismo) de la población viva (proteínas y aminoácidos, hidratos de carbono simples y compuestos, ácidos orgánicos de distinta naturaleza, ceras, resinas, ligninas y otros). En suma los compuestos orgánicos de naturaleza individual constituyen en los suelos minerales aproximadamente el 10-15% de la reserva total de materia orgánica.

El segundo grupo constituye la porción principal de la parte orgánica del suelo, es decir hasta el 85-95 % de la reserva total de humus.

2.1.1.1 Sustancias orgánicas del suelo de naturaleza individual

El estudio de su naturaleza comenzó ya en las primeras décadas de nuestro siglo. Así la lista hacia los años treinta, según los trabajos de Shmuk (1930) y Maiwald (1931), incluía los siguientes compuestos (Cit. en Blatta, 2000):

- Hidratos de carbono.
- Ácidos orgánicos de la serie alifática y sus ésteres.
- Alcoholes.
- Ésteres.
- Aldehídos.
- Resinas.

- Compuestos nitrogenados.

En la actualidad se nota un evidente interés hacia el estudio de este tipo de sustancias, gracias sobre todo a la aplicación de nuevos métodos de investigación, que permiten descubrir e identificar sustancias en pequeñas cantidades, ya que sus funciones se presentan esencialmente a pequeñas dosis.

2.1.1.2 Sustancias húmicas del suelo propiamente dichas

Las sustancias húmicas constituyen el complejo de compuestos orgánicos de color marrón, pardo y amarillo, que se extrae del suelo por soluciones de álcalis, sales neutras y disolventes orgánicos; Kononova (1983). (Cit. en Romera, 2003).

La mayor parte de las sustancias húmicas se encuentran unidas de distintas formas con la parte mineral del suelo, quedando tan sólo una pequeña fracción en estado libre, por tanto, para pasar a estado soluble es preciso destruir esta unión.

La extracción del suelo de las sustancias húmicas en la actualidad se lleva a cabo con el empleo de diversos disolventes. Las sales neutras de los ácidos minerales, en particular el pirofosfato de sodio, al igual que algunas sales neutras de los ácidos orgánicos, se utilizan con este fin en base a la capacidad que tienen para formar precipitados insolubles o complejos solubles con el calcio, hierro, aluminio y otros cationes polivalentes, con los cuales están unidas en el suelo. Así, como resultado de dichas reacciones, éstas pasan a estado soluble. Pero a pesar de este hecho, con las soluciones citadas se extrae menos materia orgánica que con soluciones de álcalis.

Ácidos húmicos del suelo

En el grupo de los ácidos húmicos están englobadas las materias que se extraen del suelo por disolventes (NaOH, KOH, NH₄OH, NaHCO₃, NaF, oxalato sódico, urea, y otros), y que al acidificar con ácidos minerales, se precipitan de las soluciones obtenidas en forma de un gel oscuro; Kononova (1983). (Cit. en Romera, 2003).

A pesar de la diversidad de los ácidos húmicos de distintos suelos, turbas, restos vegetales en descomposición, conservan unos principios de estructura muy semejantes.

Naturaleza química de los ácidos húmicos

Los ácidos húmicos tienen una naturaleza muy particular, muy distinta a la de cualquier sustancia vegetal.

Núcleo aromático de los ácidos húmicos

Sobre la naturaleza aromática de los ácidos húmicos de suelos y turbas hablan los datos obtenidos con ayuda de espectroscopia infrarroja.

En el estudio comparativo de distintos suelos, los autores registran un mismo tipo de carácter de espectros infrarrojos, lo que puede servir de indicación de la similitud de constitución de estos ácidos.

A la par con los ácidos húmicos de naturaleza aromática, hay sin duda en el suelo representantes de este grupo con núcleo aromático no manifiesto privados de tal; a ellos pertenecen a las melanoidinas.

Nitrógeno de los ácidos húmicos

En la actualidad el nitrógeno se considera como parte constitucional de las moléculas de los ácidos húmicos y su contenido es del 3,5-5,0 %.

Una parte del nitrógeno, aproximadamente la mitad, pasa a la solución en el caso de producirse una hidrólisis ácida; esta parte está representada por amidas, mono y diaminoácidos, cuya relación resultó ser característica para las proteínas de origen animal y vegetal.

La situación del nitrógeno en las moléculas de las sustancias húmicas es muy importante, ya que determina en cierta medida la accesibilidad de éste a los microorganismos.

Grupos funcionales y otros de los ácidos húmicos

Aparte de los grupos carboxilos, fenólicos y alcohólicos, hay en los ácidos húmicos grupos metoxilos CH_3O , cuya cantidad en los distintos representantes es oscilante. Se ha constatado que el contenido de los grupos metoxilos es mayor en los representantes menos "maduros" (6-8 %) y menor en los ácidos húmicos ya formados (1-2 %).

2.1.1.3 Fulvoácidos (crénico y apocrénico) del humus del suelo

Los fulvoácidos se distinguen de los ácidos húmicos por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 %), y por su buena solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Pero por su naturaleza confusa, el papel de los fulvoácidos no fue estudiado hasta los años treinta, estableciendo su relación con el proceso de formación del podsol. Así que es en los años cuarenta cuando su estudio es retomado por Tyurin (1940), y más tarde por Panomareva (1947), quienes extrajeron estos ácidos de suelos, y obtuvieron datos que caracterizan su naturaleza, propiedades y papel en el desarrollo del proceso de formación del podsol. (Cit. en Englewood, 2003).

Según los datos de estos científicos, los fulvoácidos pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos, y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras y furfural. Los fulvoácidos tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq por 100 g de sustancia) (Blatta, 2000).

Sobre la baja "aromatización" de los fulvoácidos hablan los datos de la composición elemental, en la cuál el porcentaje de carbono es significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los ácidos húmicos.

Los ácidos fúlvicos, al igual que los húmicos, contienen nitrógeno. Bremner (1954), al hidrolizarlos con HCl 6N, encontró que el 20-30 % de su nitrógeno pasa a la solución, en la que descubrió diversidad de aminoácidos; este nitrógeno presenta gran movilidad. (Cit. en Benzina, 2003).

En la composición de los fulvoácidos hay aminoazúcares. Así pues, contienen sustancias reductoras y, posiblemente en cantidades mayores que los ácidos húmicos, aproximadamente entre un 20-25 %.

Para concretar diré que, los fulvoácidos, poseyendo en esencia unidades estructurales similares a las de los ácidos húmicos, se caracterizan por la presencia de una fracción nuclear poco pronunciada (rejillas aromáticas del carbono) con predominio de cadenas laterales. Esto da fundamento para considerarlos como los representantes menos "maduros" del grupo de los ácidos húmicos.

Las investigaciones de Freytag (1955, 1961), Mistersky y Loguinova (1959), y de Nikolaeva (1958, 1959), hablan sobre la transición de los ácidos húmicos a fulvoácidos y viceversa a causa del cambio de su estado químico coloidal. (Cit. en Benzina, 2003).

Las propiedades comunes de los ácidos húmicos y fulvoácidos son heterogeneas y posibilidad de separación en una serie de fracciones por distintos procedimientos (mediante precipitación fraccionada por ácidos y soluciones buffer, métodos de ultra centrifugación, electroforesis y cromatografía). Aleksandrova (1949), obtuvo estas fracciones, y vio que se distinguían por el contenido elemental, capacidad de cambio, y por la relación a los electrolitos. (Cit. en Englewood, 2003).

2.1.2 Modificación de la composición química de los restos vegetales

La composición química de los restos orgánicos, así como las condiciones del medio suelo, son determinantes en el proceso de humificación, ya que influyen en la actividad de los microorganismos.

Tabla 2.1: composición química aproximada de organismos vegetales superiores inferiores (en % del peso seco).

Objeto de estudio	Ceras grasas resinas	Proteínas	Celulosa	Hemicelulosas hidratos y carbohidratos	Lignina
Hierbas leguminosas vivaces:					
Raíces	10-12	10-15	20-25	25-30	10-15
Hojas	-	12-20	15	10-12	5
Hierbas gramineas vivaces	5-12	5-10	25-30	25-30	15-20
Árboles de hoja ancha:					
Hojas	3-5	4-10	15-25	10-20	10
Madera	-	0,5-1	40-50	20-30	20-25
Coníferas:					
Hojas	20-25	5-7	20	15-20	15
Madera	-	0,1-1	45-50	15-25	25-30
Musgos	-	5-10	15-25	30-60	No hay
Líquenes	-	3-5	5-10	60-80	8-10
Algas	-	10-15	5-10	50-60	No hay
Bacterias	-	40-70	No hay	Mucosidad	

Fuente: Kononova (1982).

Los organismos vegetales contienen en general los mismos grupos de sustancias (ceras, grasas, resinas, proteínas, carbohidratos simples y compuestos, lignina y otras), a pesar de lo cual, la proporción de estos componentes influye considerablemente en la velocidad de

humificación. En la presente tabla se exponen los datos de la composición química de los organismos vegetales superiores e inferiores.

Lo que más rápidamente se descompone es el almidón, así como la celulosa; las pérdidas menores de hemicelulosa y proteínas pueden atribuirse a una síntesis secundaria en forma de plasma de los microorganismos que participan en el proceso de descomposición. La reducción insignificante de la cantidad de lignina es el resultado de su relativa resistencia a la acción de los microorganismos.

La descomposición de los líquenes y, sobre todo, de musgos, transcurre bastante despacio. Posiblemente, la causa sea el elevado contenido de hemicelulosas en la composición de estas plantas y, en particular, de ácidos urónicos, resistentes a la descomposición.

2.1.3 Papel de la materia orgánica en la formación del suelo y en el mantenimiento de su fertilidad

2.1.3.1 Materia orgánica y erosión del suelo

La acción de las sustancias orgánicas es responsable en gran medida de la formación del suelo y existen motivos para considerar que los pioneros en dicho proceso son los microorganismos, los cuales constituyen un eslabón fundamental en el ciclo del hierro, azufre, calcio, silicio, fósforo, y otros elementos.

Vernadskiy (1927) indicaba que, en las complejas condiciones de la acción bioquímica de los organismos y el agua con el oxígeno, ácido carbónico y sustancias orgánicas que en él se contienen, se produce la descomposición de los silicatos y aluminosilicatos, la liberación de hidróxidos de hierro, la formación de sales carbónicas alcalinas y alcalino-térreas, en su mayor parte solubles en agua, la precipitación de coloides de sílice, arcillas caolínicas, y la destrucción de la unión de la sílice y alúmina con los metales. (Cit. en Romera, 2003).

La erosión, destruye la capacidad productiva del terreno y remueve la materia orgánica, nitrógeno, las partículas de arcilla y limo, los cuales son la vida del suelo; reduce también la provisión de agua utilizable en dos formas: 1) reduciendo la cantidad de espacio para almacén de agua y 2) haciendo más difícil para el suelo absorberla. La erosión reduce la cantidad de espacio para almacén de agua por medio de la remoción de parte del suelo, y, a causa de esto, mucho del espacio de almacenaje y profundidad del suelo superficial son disminuidos (Stallings, 1962).

Asimismo, es reducida la cantidad de agua absorbida por el suelo, mediante el enlodamiento de la superficie del mismo, pues el agua no puede penetrar en la tierra fácilmente. En sus formas más suaves, el agua y el viento remueven solamente materia orgánica, limo y arcilla de la porción de suelo que contiene el alimento de la planta. Para restaurar tales suelos a su estado original de fertilidad, los elementos nutritivos y la materia orgánica removidos tienen que ser reemplazados (Thompson, 1962).

Las formas de acción de los organismos vivos y los productos de su actividad vital sobre la corteza terrestre, son muy diversas. Así, la forma más sencilla es la disolución por los productos de la actividad vital de los microorganismos de minerales, tales como calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$), siderita (FeCO_3), sales del ácido fosfórico, y demás compuestos.

Entre los productos de la actividad de los microorganismos hay tanto compuestos minerales (CO_2 , HNO_3 , H_2S y otros) como ácidos orgánicos de bajo peso molecular (butírico, maleico, acético, propiónico, glucónico, fumárico).

Muchos investigadores han descrito la transformación de los fosfatos poco solubles (fosforitas y otros fosfatos de calcio), en estados asequibles a las plantas. Kreybig (1953) propuso los procedimientos para la obtención de "biofosfatos" a partir de la fosforita y apatita. (Cit. en Blatta, 2000).

Novorossova, Remesov y Suslikina (1947) observaron la descomposición de caolina y feldespato por una microflora mixta, con formación de estados solubles de SiO_2 y Al_2O_3 , en un medio nutritivo con glucosa y nitrógeno orgánico. (Cit. en Blatta, 2000).

Oberlies y Pohlman (1958) describieron la descomposición del feldespato por una mezcla de bacterias. (Cit. en Romera, 2003).

Aleksandrov (1949) mostró la posibilidad de descomposición de los silicatos, con obtención de formas de potasio solubles, asequibles a las plantas. (Cit. en Blatta, 2000).

Sobre la destrucción del granate y los minerales que lo componen (cuarzo y mica), Yarilova (1947) estableció el papel de los líquenes en la erosión de rocas cristalinas macizas y los minerales aislados que las constituyen, gracias a la acción de sus cuerpos mucilaginosos sobre el sustrato. La explicación del proceso anterior reside en el hecho de que dichas secreciones mucilaginosas poseen una gran capacidad aglutinante, y tras su secado, producen la ruptura de las partículas cohesionadas.

La acción de la materia orgánica sobre la roca madre se intensifica con la población de los suelos primitivos por las plantas superiores. Se conocen casos de trituración mecánica de rocas por las raíces de plantas superiores y, asimismo, de disolución de minerales por las secreciones radiculares. Estas secreciones contienen compuestos orgánicos con propiedades quelatizantes (aminoácidos, ácidos orgánicos, aminas y otros), cuya importancia en el proceso de erosión y en el ciclo de sustancias (hierro, cobre, manganeso y otros) ya ha sido comentada.

2.1.3.2 Participación de la materia orgánica en la formación del perfil del suelo

La materia orgánica, además de proporcionar nitrógeno, tiene, otras importantes funciones. Se acumula en el suelo, en forma de un material finamente dividido, de color oscuro, algunas veces definido como humus, recubriendo la superficie de las partículas minerales. Una gran cantidad de esta materia orgánica, humus, al descomponerse produce el color oscuro del suelo (Stallings, 1962).

Una característica común a todos los suelos, es la aparición de distintas capas, desde la superficie hacia abajo. La sección vertical del suelo, con el fin de que se pongan de manifiesto estas capas, se conoce con el nombre de perfil.

La capa superficial tiene generalmente más materia orgánica, y por tanto más color, que la capa siguiente; se denomina horizonte A o suelo superior. Por debajo de esta capa existe otra que puede contener más arcilla que el suelo superior y puede ser bastante distinta en color.

Se denomina horizonte B o subsuelo. Estos dos horizontes constituyen el *solum*, la palabra latina que indica suelo. El espesor de un suelo es una característica que ésta asociada con la acumulación de materia orgánica. Como regla general se puede reconocer el estado de desarrollo de un suelo por medición del espesor en que se ha acumulado la materia orgánica (Stallings, 1962).

La heterogeneidad del perfil es el resultado de la alteración de la roca madre y de la redistribución del material en el proceso de formación del suelo. Un papel bastante importante en estos fenómenos pertenece a las materias orgánicas del suelo.

Sólo una pequeña parte de estas últimas está presente en estado libre; la porción predominante está unida a la parte mineral del suelo. La naturaleza de los compuestos

metalo-orgánicos (compuestos organo-minerales), diferentes en distintos suelos, todavía no está estudiada actualmente con suficiente plenitud.

Las posibles formas de unión con la parte mineral del suelo fueron sistematizadas en los años treinta por Tyurin (1937), Springer (1936), aunque con posterioridad se realizaron otras clasificaciones para los distintos suelos. (Cit. en Englewood, 2003).

2.1.3.3 Materia orgánica y estructura del suelo

Ya en el siglo XIX, diversos investigadores hablaron sobre el papel de la estructura en la creación de los regímenes hídrico, aéreo y nutricional favorables a la planta, y señalaron la importancia que tienen los sistemas radiculares de las plantas, el humus y la fracción limosa del suelo, en el proceso de formación de esta estructura.

El proceso de formación de la estructura consta de un complicado mecanismo, sobre el cual tiene influencia el complejo de condiciones del medio suelo: composición mecánica y mineralógica, naturaleza del humus, carácter de interacción entre la parte mineral y orgánica, condiciones de humedad y acción mecánica.

Es decir, el suelo, se forma a partir de un material primario, a través de procesos de transformación, que están de acuerdo con el tipo de meteorización de las rocas y de los minerales primarios. En la transformación del material primario, las rocas y los minerales se rompen, dando materiales no consolidados; en general este cambio se debe a una meteorización física. A medida que se va formando el suelo a partir de los materiales primarios, se van realizando ciertos cambios que diferencian los distintos horizontes hasta dar al suelo estratificaciones distintas (Stallings, 1962).

En su mayor parte estos cambios se producen por movimiento de los materiales, ya sea mecánicamente o en disolución, hacia las diversas capas entre los horizontes, o incluso fuera del suelo. La introducción de la materia orgánica facilita este movimiento.

Las diferencias en la construcción de los agregados estructurales se han revelado con evidencia en distintos tipos de suelos, y dependen tanto de la naturaleza del humus como de la parte mineral del suelo.

En los suelos mal drenados, la velocidad de mineralización es lenta, por lo que presentarán contenidos de materia orgánica mayores que los suelos bien drenados, siendo la formación de turba un caso extremo de lentitud de la biodegradación.

La puesta en cultivo implica una aceleración de la mineralización, de forma que la materia orgánica preexistente disminuye de forma exponencial. Esto afectará negativamente al comportamiento del suelo en todas aquellas características dependientes de la materia orgánica (Ramsmussen & Collins, 1991) (Cit. en Porta *et al*, 1999).

La variabilidad en el conjunto de un ecosistema está ligada a las variaciones en la distribución de las plantas. En regiones de clima húmedo, la vegetación puede recubrir todo el suelo, por lo que toda la superficie recibe aportes. En regiones semiáridas la vegetación se halla dispersa, con lo que la heterogeneidad espacial será acentuada. (Porta *et al*, 1999).

La materia orgánica es aquella parte oxidable, que se determina con dicromato de potasio en medio sulfúrico, se puede afirmar que en una fase inicial de la edafogénesis, el contenido de materia orgánica aumenta progresivamente, principalmente en los horizontes de la superficie.

La cantidad de materia orgánica que contenga un suelo en un momento dado, será la diferencia entre la biomasa total recibida y la biomasa mineralizada de forma relativamente rápida (un ciclo anual para hojas de caducifolios en un medio biológicamente activo) y el humus mineralizado, de forma lenta. Los contenidos de materia orgánica oxidable característicos de algunos ecosistemas son, para el horizonte de superficie:

Tabla 2.2 Contenido aproximado de materia orgánica oxidable, según el ecosistema.

Suelos de pradera	5-8%
Turberas (histosoles)	> 40%
Suelos de secano semiárido	1-2 %
Suelos de regadío	2-4 %
Suelos de zona templada húmeda	6-8%

Fuente: Porta *et al* (1999)

2.1.3.4 Factores que regulan la velocidad de humificación

La velocidad de humificación de los materiales orgánicos es un parámetro muy importante a la hora de valorar el equilibrio húmico de un suelo y, por lo tanto, su fertilidad, que se ve favorecida al aumentar los valores de aquella.

Los factores que regulan dicha velocidad de humificación son (Terrón, 1988):

- a) Naturaleza del residuo

En los residuos vegetales, la lignina engloba la mayor parte de la celulosa y hemicelulosa retrasando su descomposición.

b) Humedad

La multiplicación microbiana exige la presencia de agua en el propio residuo (tallos y hojas tiernas, estiércoles frescos, etc.), o en el suelo.

c) Aireación

La flora microbiana aerobia presenta mayor actividad y por tanto se puede beneficiar con las labores del suelo, un buen drenaje, con la disgregación de los montones de estiércol, etc. Por el contrario, en condiciones anaerobias la humificación es muy lenta e incompleta.

d) Temperatura

Según la ley de Van't Hoff, la velocidad de reacción se duplica o triplica por cada 10°C que aumenta la temperatura media anual de una zona, aunque esta ley sólo es válida para un intervalo entre 5°C y 40°C. Si se supera esta temperatura, de oxidación de los compuestos carbonados y la pérdida de nitrógeno es tan intensa que se reduce el valor fertilizante del humus que se forma a estas temperaturas. Si se superan los 70°C, las pérdidas vuelven a ser pequeñas, pues la actividad microbiana se reduce a la actuación de la microflora termófila.

e) Contenido en elementos minerales

La multiplicación microbiana exige la utilización de elementos minerales, tales como: nitrógeno fósforo, azufre, calcio, etc. Pero de todos ellos el que juega el papel más importante en la humificación es el nitrógeno, ya que actúa de elemento limitante. En este sentido los materiales orgánicos se clasifican de la siguiente forma:

- Materiales con un contenido en nitrógeno superior al 2.4 % en su materia seca. Existe suficiente nitrógeno y durante la humificación habrá liberación de nitrógeno mineral, que enriquecerá el suelo y favorecerá la nutrición de los vegetales cultivados.

- Materiales con un contenido en nitrógeno entre 1.2 y 2.4 % en su materia seca. Existe cierto equilibrio que permite la nutrición de los microorganismos sin que se produzca globalmente variación en el contenido de nitrógeno del suelo.

- Materiales con un contenido en nitrógeno menor del 1.2 % en su materia seca. Se manifiesta una falta de nitrógeno en los materiales orgánicos que da lugar a que los microorganismos utilicen el nitrógeno del suelo y, por lo tanto, establezcan una competencia con las plantas, disminuyendo la fertilidad nitrogenada temporal ya que, al morir los microorganismos, el nitrógeno de su protoplasma se mineraliza.

f) Condiciones del suelo: pH y salinidad

Para que se produzca una adecuada evolución de la materia orgánica el pH debe estar comprendido entre 6 y 7.2, siendo las condiciones más desfavorables las de pH menor de 5.5, en el que se desarrolla una flora acidófila, y las de pH superior a 7.5, donde la flora es basófila.

2.2 ESTRUCTURA DEL AGUA

La molécula de agua está formada por dos átomos de H unidos a un átomo de O por medio de dos **enlaces covalentes**. La disposición tetraédrica de los orbitales sp^3 del oxígeno determina un ángulo entre los enlaces aproximadamente de $104^{\circ}5'$.

H-O-H

Debido a que el oxígeno es más **electronegativo** que el hidrógeno, éste atrae con más fuerza a los electrones de cada enlace.

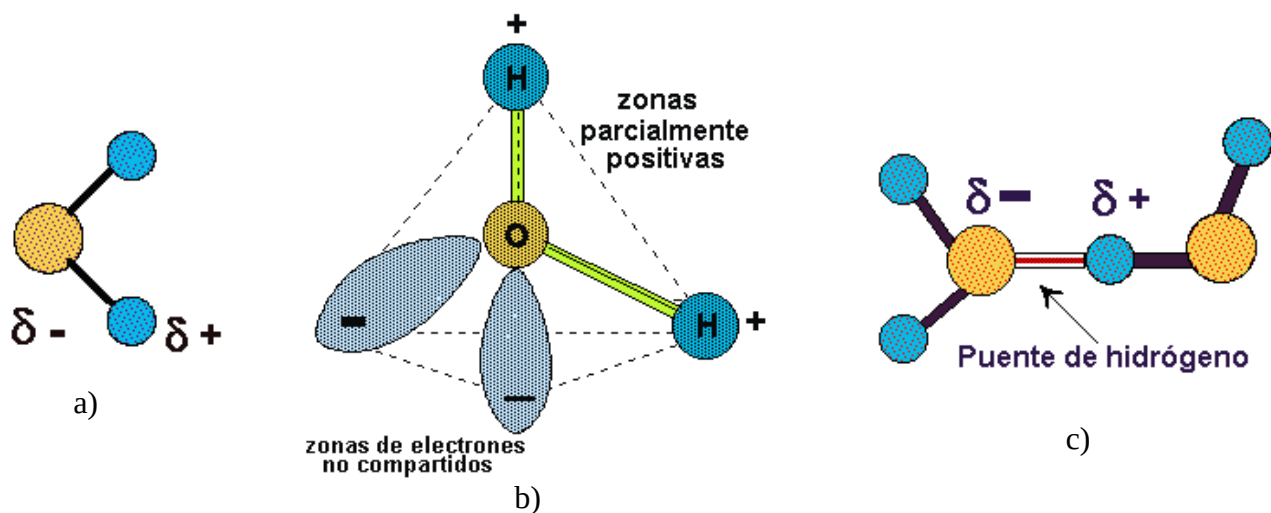


Fig. 2.1 Formación y estructura de la molécula del agua

El resultado es que la molécula de **agua** aunque tiene una carga total neutra (igual número de protones que de electrones), presenta una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una **molécula polar**, *alrededor del oxígeno* se concentra una **densidad de carga negativa** , mientras que los núcleos de **hidrógeno** quedan desnudos, desprovistos parcialmente de sus electrones y manifiestan, por tanto, una **densidad de carga positiva**. Por eso en la práctica la molécula de agua se comporta como un **dipolo** (Kemmer, 1999)

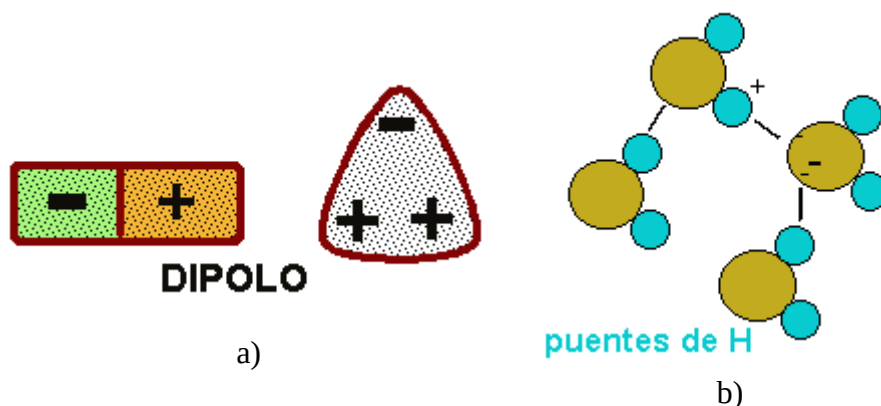


Fig. 2.2 Formación de enlaces o puentes de hidrógeno de la molécula del agua

Así se establecen **interacciones dipolo-dipolo** entre las propias moléculas de agua, formándose **enlaces o puentes de hidrógeno**, la carga parcial negativa del oxígeno de una molécula ejerce atracción electrostática sobre las cargas parciales positivas de los átomos de hidrógeno de otras moléculas adyacentes.

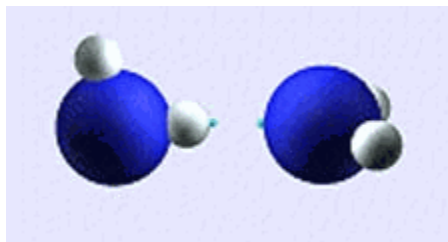


Fig. 2.3 Union de 2 moléculas por puente de hidrogeno para formar agua líquida

Aunque son uniones débiles, el hecho de que alrededor de cada molécula de agua se dispongan otras cuatro moléculas unidas por puentes de hidrógeno permite que se forme en el **agua** (líquida o sólida) una *estructura de tipo reticular*, responsable en gran parte de su comportamiento anómalo y de la peculiaridad de sus propiedades físicoquímicas.

2.2.1 Propiedades del agua

1. Acción disolvente

El agua es el líquido que más sustancias disuelve, por eso decimos que es el *disolvente universal*. Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar *puentes de hidrógeno* con otras sustancias que pueden presentar grupos polares o con carga iónica (alcoholes, azúcares con grupos **R-OH**, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, lo que da lugar a *disoluciones moleculares b)*). También las moléculas de agua pueden disolver a sustancias salinas que se disocian formando *disoluciones iónicas a)*

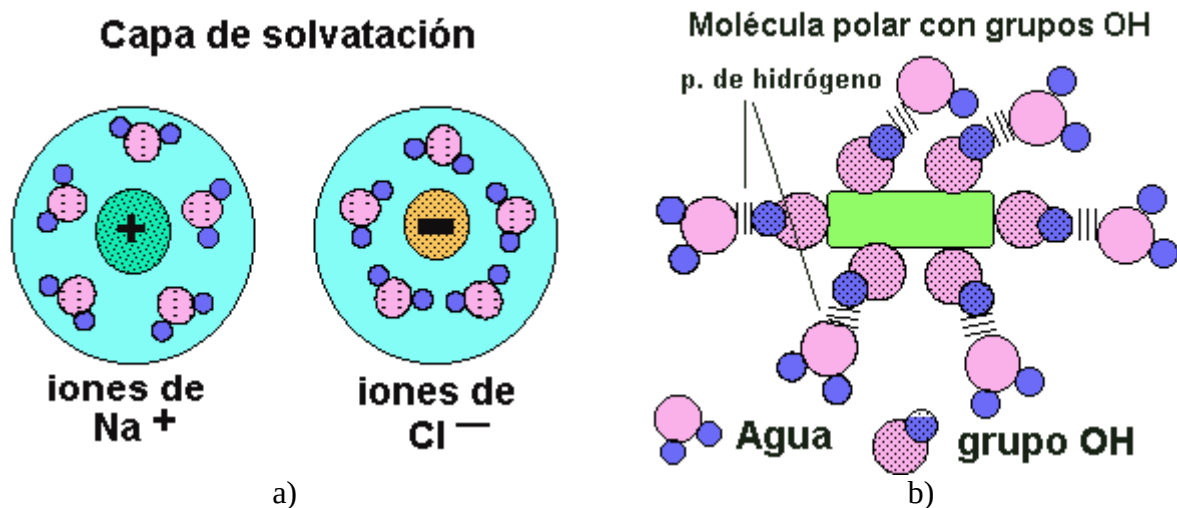


Fig. 2.4 a)Disoluciones Iónicas

b)Disoluciones Moleculares

(Luengo, 2003) En el caso de las disoluciones iónicas a); los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados o solvatados.

La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones :

- 1). Medio donde ocurren las reacciones del metabolismo
- 2). Sistemas de transporte

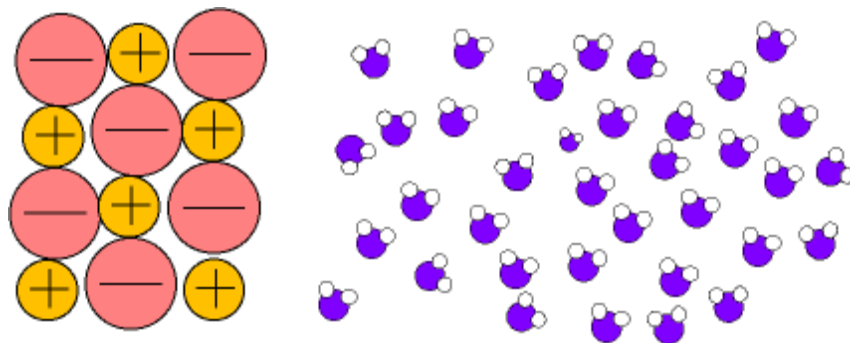
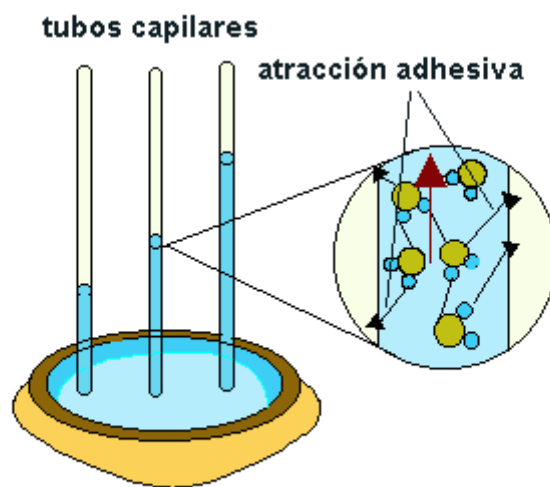


Fig. 2.5 Capacidad disolvente del agua de aniones y cationes, dado que es una sustancia anfótera

2. Elevada fuerza de cohesión

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incomprensible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos. (Puc, 2003)

3. Elevada fuerza de adhesión



Esta fuerza está también en relación con los **puentes de hidrógeno** que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la **cohesión** del llamado fenómeno de la **capilaridad**. Cuando se introduce un *capilar* (Fig 2.6) en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase agarrándose por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente,

Fig. 2.6 Capilaridad del agua.

Donde, la presión que ejerce la columna de agua, se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

2. Gran calor específico

También esta propiedad está en relación con los puentes de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de "calor" que utiliza para romper los puentes de hidrogeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. Esto permite que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura. Así se mantiene la temperatura constante.

3. Elevado calor de vaporización

Sirve el mismo razonamiento, también los puentes de hidrógeno, son los responsables de esta propiedad. Para evaporar el agua, primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa.

Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de 20°C.

Funciones del agua

Las funciones del agua se relacionan íntimamente con las propiedades anteriormente descritas. Se podrían resumir en los siguientes puntos (Luengo, 2003)

1. Soporte o medio donde ocurren las reacciones metabólicas
2. Amortiguador térmico
3. Transportador de sustancias
4. Lubricante, amortiguadora del roce entre órganos
5. Favorece la circulación y turgencia
6. Da flexibilidad y elasticidad a los tejidos
7. Puede intervenir como reactivo en reacciones del metabolismo, aportando hidrogeniones o hidroxilos al medio.

2.2.2 Ionización del agua

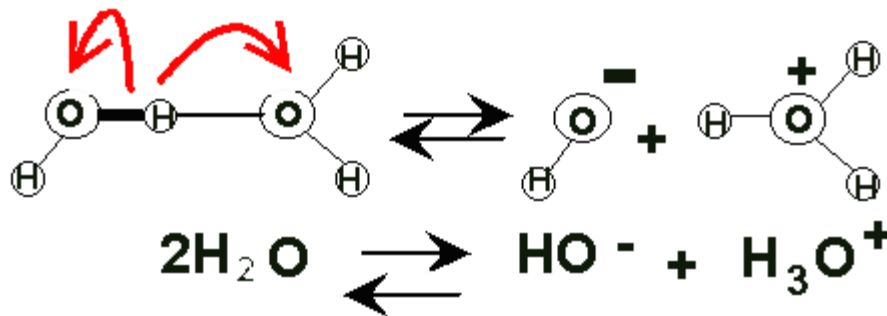


Fig. 2.7 Disociación del agua

El agua pura tiene la capacidad de disociarse en iones, por lo que en realidad se puede considerar una mezcla de:

- agua molecular (H_2O)
- protones hidratados (H_3O^+) e
- iones hidroxilo (OH^-)

En realidad esta disociación es muy débil en el agua pura, y así el **producto iónico del agua** a 25°C: es

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 1,0 \times 10^{-14}$$

Este producto iónico es constante. Como en el agua pura la concentración de hidrogeniones y de hidroxilos es la misma, significa que la **concentración de hidrogeniones es de 1×10^{-7}** . Para simplificar los cálculos *Sorensen* ideó expresar dichas concentraciones utilizando logaritmos, y así definió el **pH** como el logaritmo cambiado de signo de la concentración de hidrogeniones. Según ésto:

- disolución neutra **pH = 7**
- disolución ácida **pH < 7**
- disolución básica **pH > 7**

En la **figura 2.8** se señala el pH de algunas soluciones. En general hay que decir que la vida se desarrolla a valores de pH próximos a la neutralidad.

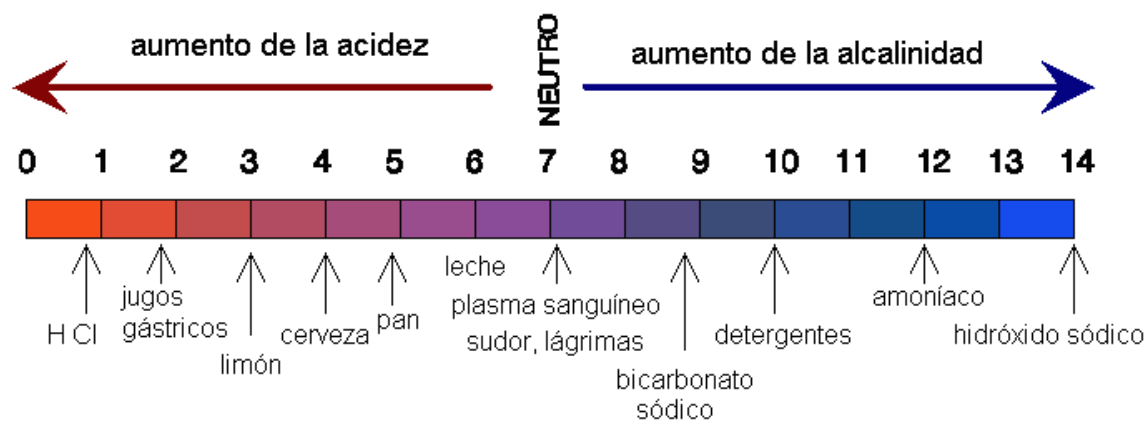
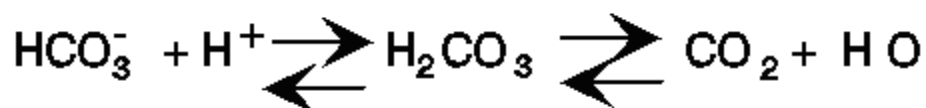


Fig. 2.8 pH de algunas soluciones

(Kemmer, 1999) Los organismos vivos no soportan variaciones del pH, mayores de unas décimas de unidad y por eso han desarrollado a lo largo de la evolución sistemas de tampón o buffer, que mantienen el pH constante mediante mecanismos homeostáticos. Los sistemas

tampón consisten en un par ácido-base conjugada que actúan como dador y aceptor de protones respectivamente.

El tampón bicarbonato es común en los líquidos intercelulares, mantiene el pH en valores próximos a 7.4, gracias al equilibrio entre el ión bicarbonato y el ácido carbónico, que a su vez se disocia en dióxido de carbono y agua, de acuerdo a la siguiente reacción:



Si aumenta la concentración de hidrogeniones en el medio por cualquier proceso químico, el equilibrio se desplaza a la derecha y se elimina al exterior el exceso de CO_2 producido. Si por el contrario disminuye la concentración de hidrogeniones del medio, el equilibrio se desplaza a la izquierda, para lo cual se toma CO_2 del medio exterior.

2.2.3 Ósmosis

1. Ósmosis y presión osmótica

Si tenemos dos disoluciones acuosas de distinta concentración separadas por una membrana semipermeable (deja pasar el disolvente pero no el soluto), se produce el fenómeno de la ósmosis que sería un tipo de difusión pasiva caracterizada por el paso del agua (disolvente) a través de la membrana semipermeable desde la solución más diluida (hipotónica) a la más concentrada (hipertónica), este trasiego continuará hasta que las dos soluciones tengan la misma concentración (isotónicas o isoosmóticas).

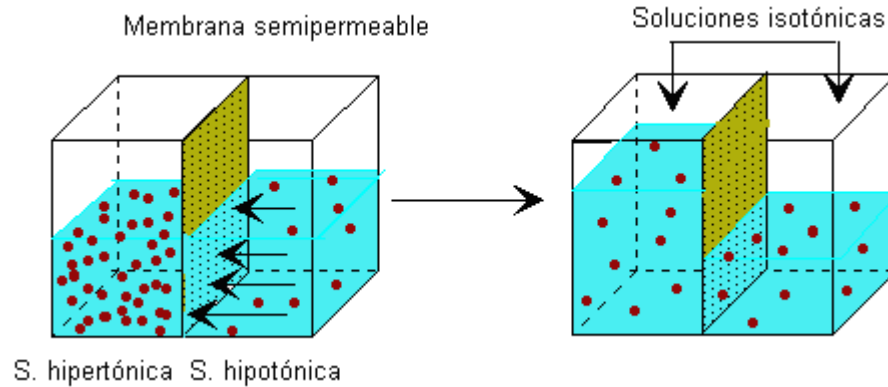


Fig. 2.9 Proceso Osmótico

Y se entiende por presión osmótica la presión que sería necesaria para detener el flujo de agua a través de la membrana semipermeable.

La membrana plasmática de la célula puede considerarse como semipermeable, y por ello las células deben permanecer en equilibrio osmótico con los líquidos que las bañan.

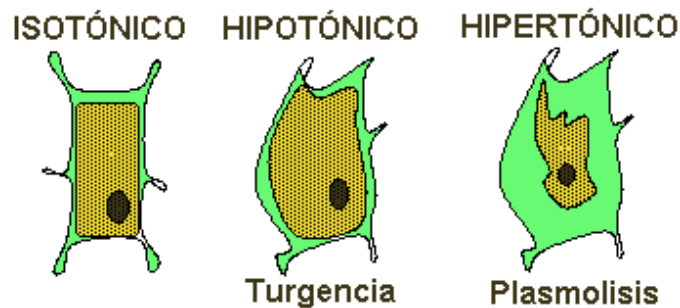


Fig. 2.10 Representación esquemática de la presión osmótica

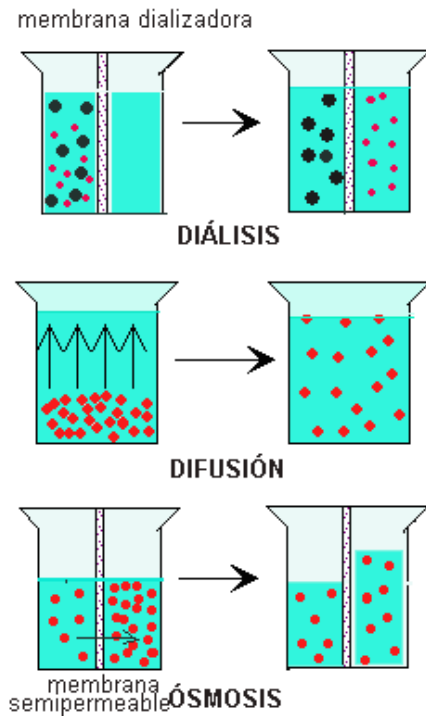
Cuando las concentraciones de los fluidos extracelulares e intracelulares es igual, ambas disoluciones son isotónicas.

Si los líquidos extracelulares aumentan su concentración de solutos se hacen hipertónicos respecto a la célula, y ésta pierde agua, se deshidrata y mueren (plasmólisis).

Y si por el contrario los medios extracelulares se diluyen, se hacen hipotónicos respecto a la célula, el agua tiende a entrar y las células se hinchan, se vuelven turgentes (turgescencia), llegando incluso a estallar. (Figura 2.10).

2. La difusión y la diálisis

(Kemmer, 1999) Los líquidos presentes en los organismos son dispersiones de diversas sustancias en el seno del agua. Según el tamaño de las partículas se formarán dispersiones moleculares o disoluciones verdaderas como ocurre con las que se forman con las sales minerales o por sustancias orgánicas de moléculas pequeñas, como los azúcares o aminoácidos.



Las partículas dispersas pueden provocar además del movimiento de **ósmosis**, otros dos:

La **diálisis**. En este caso pueden atravesar la membrana además del disolvente, moléculas de bajo peso molecular y éstas pasan atravesando la membrana desde la solución más concentrada a la más diluida. (Figura 2.11). Es el fundamento de la **hemodiálisis** que intenta sustituir la filtración renal deteriorada.

La **difusión** sería el fenómeno por el cual las moléculas disueltas tienden a distribuirse uniformemente en el seno del agua. Puede ocurrir también a través de una membrana si es lo suficientemente permeable.

Fig. 2.11 Diferencia esquemática entre el fenómeno de diálisis, difusión y ósmosis.

Así se realizan los intercambios de gases y de algunos nutrientes entre la célula y el medio en el que vive.

2.2.4 Sales minerales

Además del agua existen otras biomoléculas inorgánicas como las sales minerales. En función de su solubilidad en agua se distinguen dos tipos: insolubles y solubles en agua.

1. Sales insolubles en agua

Forman estructuras sólidas, que suelen tener función de sostén o protectora, como :

- o Esqueleto interno de vertebrados, en el que encontramos: fosfatos, cloruros, y carbonatos de calcio
- o Caparazones de carbonato cálcico de crustáceos y moluscos.
- o Endurecimiento de células vegetales, como en gramíneas (impregnación con sílice).
- o Otolitos del oído interno, formados por cristales de carbonato cálcico (equilibrio).

2. Sales solubles en agua

Se encuentran disociadas en sus iones (cationes y aniones), desempeñan las siguientes funciones:

- o Funciones catalíticas. Algunos iones, como el Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} ,...actúan como cofactores enzimáticos
- o Funciones osmóticas. Intervienen en los procesos relacionados con la distribución de agua entre el interior celular. Los iones de Na^+ , K^+ , Cl^- y Ca^{2+} , participan en la generación de gradientes electroquímicos, imprescindibles en el mantenimiento del potencial de membrana y del potencial de acción y en la sinapsis neuronal.
- o Función tamponadora. Se lleva a cabo por los sistemas carbonato-bicarbonato, y también por el monofosfato-bifosfato.

2.2.5 Disponibilidad del agua

Un 70% de la superficie de la Tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo aproximadamente 3% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no se halla generalmente disponible.

Unas 3/4 partes de toda el agua dulce se encuentra inaccesible en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con la lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible. En total, sólo un centésimo del uno por ciento del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano.

Se considera que, mundialmente, se dispone de 12, 500 a 14, 000 millones de metros cúbicos de agua (12, 500 a 14, 000 kilómetros cúbicos) por año para uso humano. Esto representa unos 9, 000 metros cúbicos por persona por año, según se estimó en 1989. Se proyecta que en el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5, 100 metros cúbicos por persona, al sumarse otros 2, 000 millones de habitantes a la población del mundo. Aún entonces esta cantidad sería suficiente para satisfacer las necesidades humanas si el agua estuviera distribuida por igual entre todos los habitantes del mundo (Luengo, 2003).

2.2.6 Aguas Residuales

Las aguas residuales se componen (tabla 2.3), básicamente, de un 99.9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de, un 0.1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0.1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido.(Kemmer, 1999)

Tabla 2.3 Composición aproximada del agua residual.

Agua Potable	Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99.9%	0.1% (por peso) Suspendidos Disueltos Coloidales Sedimentables	O ₂ CO ₂ H ₂ S N ₂	Bacterias Micro y macroorganismos Virus

Con el desarrollo de la urbanización y con la diversificación de los procesos industriales, un sin número de elementos químicos elaborados por la sociedad junto a una mayor cantidad de materias orgánicas son dispuestos en los cursos normales del agua, depositándose en lagunas, lagos, ríos y mar. La DBO y/o DQO aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación de dichos elementos, por lo que la naturaleza no

es capaz por sí sola de realizar el proceso de autopurificación de los cursos de agua.(Kemmer, 1999)

Tabla 2.4 Los principales contaminantes que deben ser removidos de las aguas residuales son:	
Residuos Sólidos DBO DQO Acidez Alcalinidad Grasas Aceites	Grasas animales Gases Solventes Nutrientes Metales pesados Compuestos Orgánicos Persistentes

Un importante efecto de la contaminación orgánica o biológica es el peligro para la salud. En los sistemas de alcantarillado, que llevan aguas servidas sin tratamiento a los ríos, lagos y mares, produce la proliferación de microorganismos que causan enfermedades como el cólera, la tifoidea y la hepatitis, las que se adquieren principalmente por beber agua contaminada o por consumir frutas o verduras regadas con agua contaminada.

Por otra parte, los excrementos, fertilizantes y detergentes contienen nitrógeno y fosfato, los que permiten un acelerado crecimiento de algas presentes en los cuerpos de agua mueren, se depositan en el fondo y sirven como alimento para las bacterias. A su vez, las bacterias consumen oxígeno, quedando muy poco para los otros seres vivos del agua, principalmente insectos y peces, los que mueren por falta de este. Este proceso se llama eutroficación y, en casos extremos, podría producir la muerte de toda forma de vida en un cuerpo de agua.(Luengo, 2003)

2.2.7 Principales Contaminantes

Los principales agentes contaminantes de las aguas son las aguas residuales, petróleo, sustancias radiactivas, minerales inorgánicos y compuestos químicos. Las aguas residuales contienen mayormente materias orgánicas que precisan oxígeno, son por tanto un agente desoxigenador del agua cuando entran en descomposición, que generan además olores desagradables (Puc, 2003).

Hidrocarburos

Los hidrocarburos son especialmente dañinos para las aguas, provocan las mareas negras, en el mar que se extienden formando una película que termina muchas veces invadiendo playas y acantilados, y afectando a peces, aves y vegetación.

Productos químicos

Los productos químicos como los pesticidas, las sustancias tensoactivas (detergentes) y los minerales inorgánicos son también causa de alta contaminación, cuando son arrastrados desde las tierras de cultivo por tormentas y escorrentías. Estos agentes también tienen su origen en explotaciones mineras, carreteras y derribos urbanos.

Calor

Una forma de contaminación de menor grado pero que debe ser considerado, es el del calor. Se presenta cuando es vertida a los ríos u otros cauces, el agua de refrigeración de las fábricas y centrales energéticas, elevando o disminuyendo la temperatura de las aguas y afectando a la vida que se desarrolla en ella.

Contaminantes de origen radiactivo

Finalmente, una de las sustancias mas contaminantes por su largo periodo de actividad, es la de origen radiactivo. Estas sustancias suelen proceder de los residuos que producen la minería y refinado de uranio y torio, centrales nucleares y actividades científicas y médicas.

2.3 GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS ENCONTRADOS EN EL AGUA RESIDUAL A TRATAR

2.3.1 Hierro, (Fe del latín ferrum, ‘hierro’). Es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene de número atómico 26 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico (Figueredo, 2002)

Fue descubierto en la prehistoria y era utilizado como adorno y para fabricar armas; el objeto más antiguo, aún existente, es un grupo de cuentas oxidadas encontrado en Egipto, y data del 4000 a.C. El término arqueológico edad del hierro se aplica sólo al periodo en el que se extiende la utilización y el trabajo del hierro. El procesado moderno del hierro no comenzó en Europa central hasta la mitad del siglo XIV (Figueredo, 2002).

PROPIEDADES

Es blando, maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Tiene un punto de fusión de 1, 535 °C, un punto de ebullición de 2, 750 °C y una densidad relativa de 7.86. Su masa atómica es 55.845.(Jiménez, 2002)

El metal existe en tres formas alotrópicas distintas: hierro ordinario o hierro- α (hierro-alfa), hierro- γ (hierro-gamma) y hierro- δ (hierro-delta). La disposición interna de los átomos en la red del cristal varía en la transición de una forma a otra. La transición de hierro- α a hierro- γ se produce a unos 910 °C, y la transición de hierro- γ a hierro- δ se produce a unos 1,400°C. Las distintas propiedades físicas de las formas alotrópicas y la diferencia en la cantidad de carbono admitida por cada una de las formas desempeñan un papel importante en la formación, dureza y temple del acero (Jiménez, 2002).

Químicamente, el hierro es un metal activo. Se combina con los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) y con el azufre, fósforo, carbono y silicio. Desplaza al hidrógeno de la mayoría de los ácidos débiles. Arde con oxígeno formando tetróxido triférrico (óxido ferrosuférrico), Fe_3O_4 . Expuesto al aire húmedo, se corroe formando óxido de hierro hidratado, una sustancia pardo-rojiza, escamosa, conocida comúnmente como orín o herrumbre. La formación de orín es un fenómeno electroquímico en el cual las impurezas presentes en el hierro interactúan eléctricamente con el hierro metal. Se establece una pequeña corriente en la que el agua de la atmósfera proporciona una disolución electrolítica. El agua y los electrolitos solubles aceleran la reacción. En este proceso, el hierro metálico se descompone y reacciona con el oxígeno del aire para formar el orín. La reacción es más rápida en aquellos lugares donde se acumula el orín, y la superficie del metal acaba agujereándose (Merian, 1991)

Al sumergir hierro en ácido nítrico concentrado (HNO_3), se forma una capa de óxido que lo hace pasivo, es decir, no reactivo químicamente con ácidos u otras sustancias. La capa de óxido protectora se rompe fácilmente golpeando o sacudiendo el metal, que vuelve así a ser activo. (Merian, 1991)

ESTADO NATURAL

El hierro sólo existe en estado libre en unas pocas localidades, en concreto al oeste de Groenlandia. También se encuentra en los meteoritos, normalmente aleado con níquel. En forma de compuestos químicos, está distribuido por todo el mundo, y ocupa el cuarto lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre; después del aluminio, es el más abundante de todos los metales. El principal mineral de hierro es la hematites. Otros minerales importantes son la goetita, la magnetita, la siderita y el hierro del pantano (limonita). La pirita, que es un sulfuro de hierro, no se procesa como mineral de hierro porque el azufre es muy difícil de eliminar. También existen pequeñas cantidades de hierro

combinadas con aguas naturales y en las plantas; además, es un componente de la sangre (Lu, 1992).

APLICACIONES Y PRODUCCIÓN

El hierro puro, preparado por la electrólisis de una disolución de sulfato de hierro (II), tiene un uso limitado. El hierro comercial contiene invariablemente pequeñas cantidades de carbono y otras impurezas que alteran sus propiedades físicas, pero éstas pueden mejorarse considerablemente añadiendo más carbono y otros elementos de aleación.

La mayor parte del hierro se utiliza en formas sometidas a un tratamiento especial, como el hierro forjado, el hierro colado y el acero. Comercialmente, el hierro puro se utiliza para obtener láminas metálicas galvanizadas y electroimanes. Los compuestos de hierro se usan en medicina para el tratamiento de la anemia, es decir, cuando desciende la cantidad de hemoglobina o el número de glóbulos rojos en la sangre (Figueredo, 2002).

COMPUESTOS

El hierro forma compuestos en los que tiene valencia +2 (compuestos ferrosos) y compuestos en los que tiene valencia +3 (compuestos férricos). Los compuestos de hierro (II) se oxidan con facilidad a compuestos de hierro (III). El compuesto más importante de hierro (II) es el sulfato de hierro (II), FeSO_4 , denominado caparrosa verde; normalmente existe en forma de cristales verde pálido que contienen siete moléculas de agua de hidratación. Se obtiene en grandes cantidades como subproducto al limpiar el hierro con baño químico, y se utiliza como mordiente en el teñido, para obtener tónicos medicinales y para fabricar tinta y pigmentos (Merian, 1991)

El óxido de hierro (III), un polvo rojo amorfo, se obtiene tratando sales de hierro (III) con una base, y también oxidando pirita. Se utiliza como pigmento, y se denomina rojo de hierro o rojo veneciano. También se usa como abrasivo para pulir y como medio magnetizable de cintas y discos magnéticos. El cloruro de hierro (III), que se obtiene en forma de cristales brillantes de color verde oscuro al calentar hierro con cloro, se utiliza en medicina y como una disolución alcohólica llamada tintura de hierro (Figueredo, 2002).

Los iones de hierro (II) y hierro (III) se combinan con los cianuros para formar compuestos de coordinación. El hexacianoferrato (II) de hierro (III) o ferrocianuro férrico, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, es un sólido amorfo azul oscuro formado por la reacción de hexacianoferrato (II) de potasio con una sal de hierro (III) y se conoce como azul de Prusia. Se usa como pigmento en pintura y como añil en el lavado de ropa para corregir el tinte amarillento dejado por las sales de hierro (II) en el agua. El hexacianoferrato (III) de potasio, $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, llamado prusiato rojo, se obtiene del hexacianoferrato (III) de hierro (II), $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$. A éste se le llama también azul de Turnbull y se usa para procesar el

papel de calco. El hierro experimenta también ciertas reacciones fisicoquímicas con el carbono, que son esenciales para fabricar el acero (Figueredo, 2002).

2.3.2 Sodio, (Na), Es un elemento metálico blanco plateado, extremadamente blando y muy reactivo. En el grupo 1 (o IA) del sistema periódico, el sodio es uno de los metales alcalinos. Su número atómico es 11. Fue descubierto en 1807 por el químico británico Humphry Davy. (Jiménez, 2002).

PROPIEDADES Y ESTADO NATURAL

El sodio elemental es un metal tan blando que puede cortarse con un cuchillo. Tiene una dureza de 0.4. Se oxida con rapidez al exponerlo al aire y reacciona violentamente con agua formando hidróxido de sodio e hidrógeno. Tiene un punto de fusión de 98 °C, un punto de ebullición de 883 °C y una densidad relativa de 0.97. Su masa atómica es 22.9898 (Jiménez, 2002)

Sólo se presenta en la naturaleza en estado combinado. Se encuentra en el mar y en los lagos salinos como cloruro de sodio, NaCl, y con menor frecuencia como carbonato de sodio, Na₂CO₃, y sulfato de sodio, Na₂SO₄. El sodio comercial se prepara descomponiendo electrolíticamente cloruro de sodio fundido. El sodio ocupa el séptimo lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Es un componente esencial del tejido vegetal y animal (Jiménez, 2002).

APLICACIONES

El Na, se utiliza para fabricar tetraetilplomo y como agente refrigerante en los reactores nucleares. El compuesto de sodio más importante es el cloruro de sodio, conocido como sal común o simplemente sal. Otros compuestos importantes son el carbonato de sodio, conocido como sosa comercial, y el bicarbonato de sodio, conocido también como bicarbonato de sosa. El hidróxido de sodio, conocido como sosa cáustica se usa para fabricar jabón, rayón y papel, en las refinerías de petróleo y en la industria textil y del caucho o hule. El tetraborato de sodio se conoce comúnmente como bórax. El fluoruro de sodio, NaF, se utiliza como antiséptico. El nitrato de sodio, conocido como nitrato de Chile, se usa como fertilizante. El peróxido de sodio, Na₂O₂, es un importante agente blanqueador y oxidante. El tiosulfato de sodio, Na₂S₂O₃·5H₂O, se usa en fotografía como agente fijador. (Petzold, 2003)

2.3.3 Potasio, K (del latín kalium, 'álcali'). Es un elemento metálico, extremadamente blando y químicamente reactivo. Pertenecce al grupo 1 (o IA) del sistema periódico y es uno de los metales alcalinos. El número atómico del potasio es 19. (Jiménez, 2002)

ESTADO NATURAL

Fue descubierto y nombrado en 1807 por el químico británico Humphry Davy. El metal es blanco plateado y puede cortarse con un cuchillo. Se da en tres formas isotópicas naturales, de números másicos 39, 40 y 41. El potasio 40 es radiactivo y tiene una vida media de 1,280 millones de años. El isótopo más abundante es el potasio 39. Se han preparado artificialmente varios isótopos radiactivos. El potasio tiene un punto de fusión de 63 °C, un punto de ebullición de 760 °C y una densidad de 0.86 g/cm³; la masa atómica del potasio es 39.098 (Jiménez, 2002).

El potasio metal se prepara por la electrólisis del hidróxido de potasio fundido o de una mezcla de cloruro de potasio y fluoruro de potasio. El metal se oxida en cuanto se le expone al aire y reacciona violentamente con agua, produciendo hidróxido de potasio e hidrógeno gas. El potasio ocupa el octavo lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre; se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza en minerales tales como la carnalita, el feldespatos, el salitre, la arenisca verde y la silvita. El potasio está presente en todo el tejido vegetal y animal, y es un componente vital de los suelos fértiles (Cliffs, 2003).

APLICACIONES

El potasio metal se emplea en las células fotoeléctricas. El potasio forma varios compuestos semejantes a los compuestos de sodio correspondientes, basados en la valencia 1. El bromuro de potasio (KBr), un sólido blanco formado por la reacción de hidróxido de potasio con bromo, se utiliza en fotografía, grabado y litografía, y en medicina como sedante. El cromato de potasio (K₂CrO₄), un sólido cristalino amarillo, y el dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), un sólido cristalino rojo, son poderosos agentes oxidantes utilizados en cerillas o fósforos y fuegos artificiales, en el tinte textil y en el curtido de cuero. El yoduro de potasio (KI) es un compuesto cristalino blanco, muy soluble en agua, usado en fotografía para preparar emulsiones y en medicina para el tratamiento del reuma y de la actividad excesiva del tiroides. El nitrato de potasio (KNO₃) es un sólido blanco preparado por la cristalización fraccionada de disoluciones de nitrato de sodio y cloruro de potasio, y se usa en cerillas o fósforos, explosivos y fuegos artificiales, y para adobar carne; se encuentra en la naturaleza como salitre. El permanganato de potasio (KMnO₄) es un sólido púrpura cristalino, que se usa como desinfectante y germicida y como agente oxidante en muchas reacciones químicas importantes. El sulfato de potasio (K₂SO₄) es un sólido cristalino blanco, importante fertilizante de potasio que se usa también para la preparación del sulfato

de aluminio y potasio o alumbre. El hidrogenotarttrato de potasio, que suele llamarse crémor tártaro, es un sólido blanco utilizado como levadura en polvo y en medicina. (Cliffs, 2003).

El término “potasa” designaba originalmente al carbonato de potasio obtenido lixiviando cenizas de madera, pero ahora se aplica a diversos compuestos de potasio (Petzold, 2003). El carbonato de potasio (K_2CO_3), un sólido blanco, llamado también potasa, se obtiene de la ceniza de la madera u otros vegetales quemados, y también por reacción del hidróxido de potasio con dióxido de carbono. Se usa para fabricar jabón blando y vidrio. El clorato de potasio ($KClO_3$), llamado clorato de potasa, es un compuesto blanco cristalino, que se obtiene por la electrólisis de una disolución de cloruro de potasio. Es un agente oxidante poderoso y se utiliza en cerillas (cerillos), fuegos artificiales y explosivos, así como desinfectante y para obtener oxígeno. El cloruro de potasio (KCl) es un compuesto blanco cristalino llamado comúnmente cloruro de potasa o muriato de potasa, y es un componente común de las sales minerales de potasio, de las que se obtiene por volatilización. Es un importante abono de potasio y también se usa para obtener otros compuestos de potasio. El hidróxido de potasio (KOH), llamado también potasa cáustica, un sólido blanco que se disuelve con la humedad del aire, se prepara por la electrólisis del cloruro de potasio o por reacción del carbonato de potasio y el hidróxido de calcio; se emplea en la fabricación de jabón y es un importante reactivo químico. Se disuelve en menos de su propio peso de agua, desprendiendo calor y formando una disolución fuertemente alcalina (Cliffs, 2003).

2.3.4 Fosfatos, (PO_4^{3-}) son productos formados por la sustitución de parte o todo el hidrógeno del ácido fosfórico por metales. Según el número de átomos de hidrógeno sustituidos, el compuesto obtenido se define como fosfato primario, secundario o terciario. Así, NaH_2PO_4 , con un átomo de hidrógeno sustituido, se denomina fosfato primario de sodio (también dihidrogenofosfato de sodio), y Na_3PO_4 , con tres átomos de hidrógeno sustituidos, fosfato terciario de sodio. También conocido como fosfato de sodio, el fosfato terciario de sodio se usa como detergente y ablandador del agua. Los fosfatos primarios y secundarios contienen hidrógeno y son sales ácidas. Los fosfatos secundarios y terciarios son insolubles en agua, a excepción de los de sodio, potasio y amonio; los primarios son más solubles (Petzold, 2003).

Los fosfatos son importantes para el metabolismo de animales y plantas. Los huesos contienen fosfato de calcio, $Ca_3(PO_4)_2$, y el primer paso en la oxidación de la glucosa en el cuerpo es la formación de un éster de fosfato. Para aportar fosfatos al ganado, se usa el hidrogenofosfato de calcio hidratado, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, como suplemento alimenticio. El fosfato primario de calcio, $Ca(H_2PO_4)_2$, se emplea como ingrediente en fertilizantes para plantas (Godoy *et al*, 1998)

En los últimos tiempos se ha incrementado la preocupación por los efectos medioambientales perjudiciales de los fosfatos contenidos en los detergentes domésticos.

Los detergentes que contienen fosfatos contribuyen a la contaminación del agua, ya que son un medio nutriente para las algas. Si crecieran en exceso, dificultarían la vida acuática de lagos y ríos por la falta del oxígeno (Petzold, 2003)

2.3.5 Cromo, de símbolo Cr, es un elemento metálico de color gris, que puede presentar un intenso brillo. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico y su número atómico es 24 (Jiménez, 2002)

PROPIEDADES Y ESTADO NATURAL

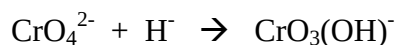
Este elemento fue descubierto en 1797 por el químico francés Louis Nicolas Vauquelin, que lo denominó cromo (del griego chroma, 'color') debido a los múltiples colores de sus compuestos. El cromo es un elemento común y ocupa el lugar 21 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Su masa atómica es 51.996; su punto de fusión es de 1,857 °C, y su punto de ebullición de 2, 672 °C y su densidad 7.2 g/cm³. (Jiménez, 2002)

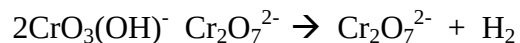
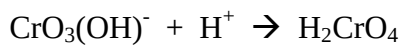
El cromo puede reemplazar en parte al aluminio o al hierro en muchos minerales a los que da sus exclusivos colores. Muchas de las gemas preciosas deben su color a la presencia de compuestos de cromo. Los minerales aptos para su posterior manipulación son poco comunes; la cromita (FeCr₂O₄) es el más importante.

El estado hexavalente del cromo es el estado de oxidación más alto y existe en forma de cromatos (CrO₄²⁻), dicromatos (Cr₂O₇²⁻) y bicromatos (HCrO₇²⁻) (Cotton y Wilkinson, 1995). El cromo forma complejo que, con excepción del CrF₆, son todos oxocompuestos con la característica de ser todos ellos oxidantes muy potentes. El óxido correspondiente, CrO₃ (Óxido de cromo), puede obtenerse como precipitado de color rojo anaranjado, añadiendo ácido sulfúrico a las soluciones acuosas de dicromato de sodio o de potasio. El óxido de cromo (VI) es fácilmente soluble en agua. Por encima de su punto de fusión (197°C) no es térmicamente estable, ya que pierde oxígeno para dar Cr₂O₃ (Óxido de cromo (III)), después de pasar por una serie de etapas intermedias. Oxida vigorosamente la materia orgánica en casi todas sus formas y es posible preparar ésteres con alcoholes que potencialmente tienen un elevado poder explosivo. (Cit. en Martínez, 2000)

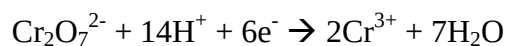
La química de las soluciones acuosas del Cr (VI) es muy importante. En soluciones alcalinas se encuentra como ion cromato, CrO₄²⁻ (tetraédrico), color amarillo. Si se disminuye el pH, las soluciones toman color anaranjado y dan el ion dicromato, Cr₂O₇²⁻. (Martínez, 2000)

El mecanismo de esta reacción comprende la adición de un protón al cromato para dar HCrO₄; que luego dimeriza:

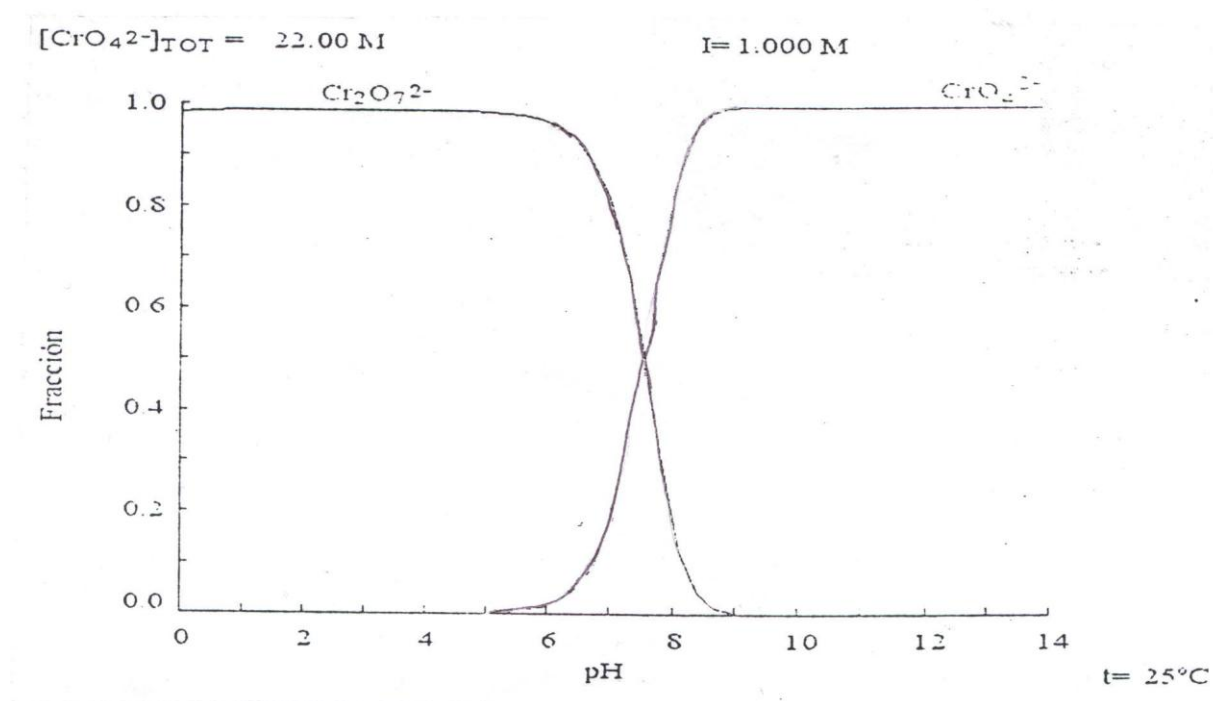
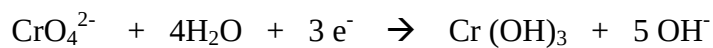




(Cotton y Wilkinson, 1995) Estos equilibrios que dependen del pH del medio, han sido estudiados con mucho detalle. Se ha comprobado que al agregar cationes, que formen cromatos insolubles, precipitan los cromatos y los dicromatos permanecen en solución. Las soluciones ácidas de dicromato son agentes oxidantes muy energéticos (Cit. en Martínez, 2000)



En soluciones alcalinas el ion cromato es mucho menos oxidante:



APLICACIONES

Más de la mitad de la producción total de cromo se destina a productos metálicos, y una tercera parte es empleada en refractantes. El cromo está presente en diversos catalizadores importantes. Principalmente, se utiliza en la creación de aleaciones de hierro, níquel o cobalto. Al añadir el cromo se consigue aumentar la dureza y la resistencia a la corrosión de la aleación. En los aceros inoxidables, constituye el 10% de la composición final. Debido a su dureza, la aleación de cromo, cobalto y wolframio se emplea para herramientas de corte rápido de metales. Al depositarse electrolíticamente, el cromo proporciona un acabado brillante y resistente a la corrosión. Debido a ello se emplea a gran escala en el acabado de vehículos. El amplio uso de la cromita como refractante se debe a su alto punto de fusión, su moderada dilatación térmica y la estabilidad de su estructura cristalina (Lester, 1987).

2.4 TOXICIDAD DEL CROMO

Se ha observado que los elementos, que en un ambiente no alterado se encuentran en altas concentraciones y en formas disponibles, en general no son dañinos. En cambio, los elementos tradicionalmente no disponibles, ya sea por encontrarse en la naturaleza formando compuestos muy insolubles o por ser poco abundantes, cuando se introducen en los organismos por encima de una concentración límite, se consideran tóxicos (Jiménez, 2002).

En la última década de los años noventa, se ha demostrado que en pequeñas dosis muchos elementos, que tradicionalmente eran considerados tóxicos, son esenciales, ya que participan en los procesos enzimáticos (como lo es el caso del cromo). Sin embargo, cuando aumenta su concentración o cambia el estado de oxidación del elemento y, consecuentemente sus propiedades, pueden interferir con los procesos esenciales, dañando a los seres vivos. El límite en el que un elemento empieza a dañar a un organismo no es fijo, ya que depende de las características de cada individuo y de las de la especie a la que pertenece. Los valores informados como niveles máximos permisibles se obtienen a partir de estudios epidemiológicos y de laboratorio (Bazúa, 1994)

Se ha reconocido ampliamente que la toxicidad depende de la forma o especie del metal a las cuales el organismo ha sido expuesto. En los ambientes acuáticos y terrestres, la especiación del metal está determinada por la combinación de las propiedades químicas del metal individual con los efectos de las condiciones ambientales exteriores (Lu, 1992)

Los efectos tóxicos del cromo están relacionados con su estado de oxidación, considerando que los dos estados termodinámicamente estables bajo condiciones ambientales son el Cr(VI) y el Cr(III) (Lu, 1992).

(Adersib et al, 1994) El Cr (III) no se considera nocivo, y cuando se depositan en el suelo no presenta un problema grave de contaminación, porque tiene baja solubilidad y baja movilidad. También se ha establecido que el Cr(III) es, aproximadamente, de 100 a 1000 veces menos tóxico que el Cr(VI). Esta baja toxicidad parece deberse principalmente, a la baja capacidad del Cr (III) a penetrar en las membranas biológicas, y solamente el cromo (III) llega a ser tóxico cuando se presenta en concentraciones más altas a las establecidas, para los diferentes medios (agua, aire y suelo) (Cit. en Martínez, 2000)

Desde hace algunas décadas se han realizado estudios, tanto en humanos como en animales, en donde se ha encontrado que los compuestos metálicos son cancerígenos. La Agencia de Investigación sobre el Cáncer (1992) ha clasificado a los compuestos de arsénico, cromo hexavalente y níquel como cancerígenos para el hombre (Cit. en Martínez, 2000)

La concentración de cromo (VI) que se considera peligrosa para el ser humano es de una ingestión diaria de $100 \mu\text{g/día}^{-1}$, por lo que la OMS ha fijado un límite de 0.05mgL^{-1} en agua potable (Martínez, 2000)

En el caso de los animales una dosis oral de 15 gramos de cromato de potasio es letal para un caballo y 3 gramos para un perro. La intoxicación crónica resulta de la exposición continua de 30 mg de cromato por kilogramo en peso del cuerpo y por día para los animales (Martínez, 2000)

(Hapke, 1991) Las aves de corral son más resistentes y concentraciones arriba de los 100mgKg^{-1} en su comida no produce efectos adversos, tampoco las concentraciones de 1mgL^{-1} en el agua afectan su salud (Cit. en Martínez, 2000)

Los efectos más agresivos a la biota parecen ser causados predominantemente por los compuestos de Cr(VI), ya que, en general, son muy solubles y oxidantes. El estado trivalente se considera menos peligroso, ya que sus compuestos son menos solubles y el ion $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ es muy estable cinéticamente, por lo que no interacciona con los ligantes presentes en los organismos. Puede formar compuestos de coordinación con aminoácidos y proteínas, razón por la cual se utiliza en el curtido de la piel (Merian, 1991). La absorción de las sales de Cr(III) en el tracto gastrointestinal de los humanos es lenta (dentro de un intervalo de 0.5 a 1 %) y se ve reducida con la ingestión de alimentos (Lester, 1987).

La excreción del cromo en humanos se realiza rápidamente, variando su vida media entre 12 horas y 83 días. Los principales medios de eliminación son la orina (7 a $10 \mu\text{g/día}$) [Lester (1987)] y la heces o materia fecal, aunque el mecanismo con el que se lleva a cabo es desconocido. Las cantidades promedio de cromo en sangre en humanos son del orden de 0.05 a 0.16 ppm, mientras que en la orina son de aproximadamente 3.5 ppm; (Villalobos-Pietrinni, 1977).

Dado que la forma trivalente del cromo es relativamente inofensiva y que la forma hexavalente es tóxica, se han realizado esfuerzos especiales para lograr la separación de estos compuestos de cromo de las sustancias en contacto con los seres vivos.

2.5 FUENTES DE CONTAMINACION POR CROMO

Las industrias que generan descargas con contenido de cromo, tanto en las aguas residuales como en los residuos sólidos. Debido a los efectos que causan estas aguas residuales sobre el ambiente, es de vital importancia el estudio del comportamiento del cromo en él. Para que esto pueda realizarse, se debe contar con los métodos analíticos apropiados para identificar y cuantificar las diferentes especies de este elemento en matrices complejas como lo son el agua, aire, suelo y residuos sólidos.

(Ewers, 1991). Debido al daño potencial que para la salud humana supone la presencia de ciertos compuestos que contienen cromo, el cual aparece frecuentemente como contaminante del ecosistema terrestre, se han adoptado normas para regular las concentraciones de este elemento en el ambiente o en lugares de trabajo, así como, en el agua de consumo humano, el agua de los ríos y en las descargas industriales. (Cit. en Martínez, 2000).

Su impacto ambiental depende principalmente de la concentración de su forma hexavalente que es la forma más tóxica del cromo (Martínez, 2000).

2.6 CROMO EN EL AMBIENTE

Debido a que los compuestos solubles (sulfatos y nitratos) reaccionan más rápido para ser tóxicos que los compuestos insolubles (óxidos y fosfatos), la toxicidad se vuelve más importante si la acidez del suelo se incrementa y, al mismo tiempo, existe una reducción de ácido fosfórico asimilable en los suelos (Aubert y Pinta, 1977). En sus compuestos naturales el cromo presenta normalmente los estados de oxidación (III) y (VI). Las formas altamente oxidadas de cromo son menos estables que las menos oxidadas.

(Tezuka et al, 1991) Se ha encontrado que el Cr (III) es un elemento esencial para el hombre y para los animales, ya que es un componente activo del factor de tolerancia de la glucosa, aunque se ha cuestionado el papel que juega el Cr (III) en este factor. El cromo parece tener también un papel importante en el metabolismo de los lípidos. Una influencia benéfica del cromo está relacionada con su efecto protector contra el daño oxidante, actuando como un radical recolector de oxígeno (Cit. en Matínez, 2000)

(Barceló et al, 1993) El cromo no se considera como un nutriente esencial para las plantas; sin embargo, se han detectado efectos benéficos a bajas concentraciones de cromo, el cual puede estar presente tanto en el suelo como en el agua con que se riegan los cultivos (Cit. en Martínez, 2000)

La mayoría del Cr(III) se encuentra como cromita (FeOCr_2O_3), mineral negro, o en otras estructuras de espinela. La cromita es resistente al intemperismo y, por lo tanto, los materiales residuales se enriquecen con este elemento (Nicholas y Egan, 1975). No obstante, algunos autores, como Kabata y Pendias (1984), consideran que bajo condiciones altamente oxidantes y básicas, puede formarse el ion cromato (CrO_4^{-2}), que es el móvil y puede ser absorbido por las posiciones positivas de intercambio de arcillas y óxidos (Cit. en Bazúa, 1994). El uso de la cromita como material refractario es una de las aplicaciones en metalurgia más importantes del cromo. Un análisis típico de la cromita para ser utilizada como material refractario es de: 38 a 48 % de Cr_2O_3 , 12 a 24 % de Al_2O_3 , 14 a 24 % de Fe_2O_3 , 14 a 18 % de MgO y menos del 10 % de SiO_2 . La utilidad de la cromita como material refractario es su alto punto de fusión (2180°C), expansión térmica, alta densidad de su forma cristalina a altas temperaturas y un comportamiento químico neutro. El uso que se le dará a una mena de cromita está definido por su composición. Para una cromita comercial, la composición ideal es de 68% de Cr_2O_3 y 32% de FeO , con un contenido aproximado de cromo del 46% (Kirk y Othmer, 1979).

El Cr (VI) raramente se encuentra en la naturaleza y, cuando lo hace, forma cromato de plomo (PbCrO_4) insoluble de color anaranjado como depósito de crocoína (68.9% PbO y 31.1% CrO_3) (Klein y Hurlbut, 1985).

2.6.1 CROMO EN EL AMBIENTE POR FUENTES ANTROPOGENICAS

En general, los metales pesados tienen una gran variedad de aplicaciones industriales (tabla 2.4), lo que influye de gran manera en su aparición en las aguas residuales y en los residuos sólidos industriales. En particular, el cromo se utiliza en la producción de aleaciones, principalmente con níquel y hierro, usadas en las industrias del transporte, construcción y producción de maquinaria debido a que los aceros obtenidos son de gran dureza, tenacidad y resistencia. El cromo en la forma de cromita es utilizado como material refractario y en la manufactura de sustancias químicas de cromo. Se incorpora una gran variedad de productos automotrices (por ejemplo en el cromado), limpiadores, combustibles, inhibidores de corrosión, tintas, pinturas y pigmentos (Lester, 1987).

Tabla 2.5 Principales aplicaciones industriales que se le dan al cromo

TIPO DE INDUSTRIA	EJEMPLOS
Industria Metal-mecánica	Plantas generadoras de energía mediante vapor
(37%)	Fundiciones de productos ferrosos
	Fundiciones de productos no ferrosos
	Enchapadotas (cromadores)
Industria química	Cemento y vidrio
(35%)	Orgánica y petroquímica
	Químicos inorgánicos
	Pinturas y pigmentos
	Fotografía
	Lubricantes
	Extintores
	Limpiadores
	Fertilizantes
	Refinación del petróleo
Otras	Papel
(28%)	Piel
	Textiles

Fuente: Lester (1987)

2.7 NORMATIVIDAD AMBIENTAL

Para la realización de este documento, se tomó en cuenta la normatividad mexicana vigente, en cuanto a límites máximos permisibles de descargas contaminantes en sistemas colectores municipales y bienes nacionales, que son de observancia obligatoria para los responsables de las descargas de aguas residuales, que puedan generar efectos adversos en los ecosistemas acuíferos y por tanto generar un impacto negativo al ambiente y al equilibrio ecológico.

- NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Los límites máximos de contaminantes permisibles en los efluentes de aguas residuales emitidas a acuíferos receptores mediante sistemas colectores municipales se muestran en la siguientes tabla (perteneciente a la NOM-002-ECOL-1996):

Tabla 2.6 Límites máximos permisibles según la normatividad mexicana para descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado municipal

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

2.8 TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS PROVENIENTES DEL CROMADO (Bazúa, 1994)

Del ácido crómico, proveniente de la industria del cromado, (Bazúa, 1994) propuso la siguiente metodología para llevar a cabo la separación, estabilización y obtención de un producto de Cr(VI) reutilizable, realizando las siguientes operaciones.

- Alimentar a un reactor de tanque agitado de acero inoxidable la solución de ácido crómico.
- Agitar constantemente, agregando potasa (KOH) en escamas, hasta un valor de pH de 10.
- Dejar precipitar un sólido de color verde oscuro conteniendo las impurezas de hierro y cromo trivalente en forma de hidróxidos.
- Filtrar la mezcla anterior, con un filtro-prensa para obtener una disolución amarilla de cromato de potasio y un sólido residual.
- Evaporar la disolución amarilla de cromato, hasta sequedad para obtener, como producto final, cristales de cromato de potasio.
- Secar los cristales de cromato de potasio en un horno de secado al vacío.
- Calentar el sólido residual en un horno a 1, 000°C durante 3-4 horas para transformarlo a óxidos diversos y espinelas (cromita), de coloración negra. Estos sólidos son sumamente estables, por lo que pueden ser utilizados como materia prima en la fabricación de tabiques refractarios o semirrefractarios de cromita.

3.1 DESARROLLO DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE AR-Cr.

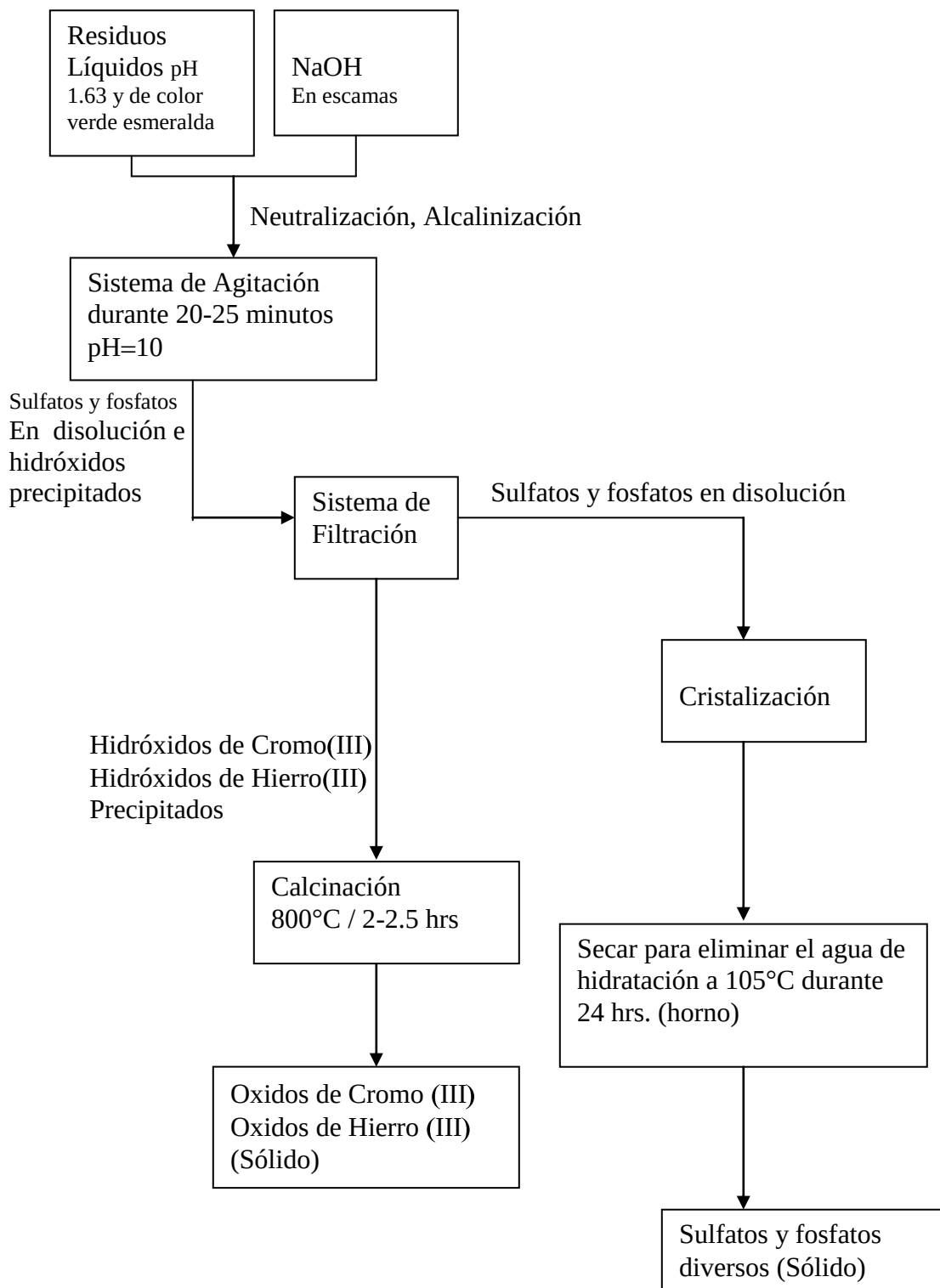
El agua residual que fue tratada, se encontraba almacenada en el Laboratorio de Suelos y Bromatología, de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Un total de 75 litros de agua residual. Cabe destacar que esta presentaba un color verde esmeralda, al igual que un pH de 1.63 y una temperatura de 24°C.

Para llevar a cabo la estabilización de las aguas residuales y, por lo tanto, la separación de las sustancias contaminantes altamente corrosivas contenidas en éstas, existen varias técnicas que suelen ser complejas y que requieren de una infraestructura altamente suntuaria; por lo que, este trabajo de investigación, tuvo como objetivo el desarrollar una técnica sencilla que empleara equipo de uso común en un laboratorio escolar, tales como: matraces kitassato, cristalizadores, embudos buchner, Mufla, Horno, Parrillas de Calentamiento con agitación, Compresor para filtración al vacío, existente en el Laboratorio de Suelos y Bromatología de la UPAEP.

Además de caracterizar el AR-Cr en cuanto al volumen, pH, color y temperatura, se sometió la muestra a un análisis cualitativo para confirmar la existencia de cationes y aniones que regían los reactivos empleados en la determinación de Materia Orgánica; por el método Walkley-Black, los cuales se suponía estaban presentes, además de los que podían provenir de la parte mineral del suelo analizado.

La técnica de estabilización propuesta a seguir se describe a continuación:

Diagrama de Flujo del proceso de depuración del agua residual.



3.1.1 ALIMENTACION

Se toma un vaso de precipitado de 2L y se llena al 75% de su capacidad con el agua residual a estabilizar; es decir 1.5 L, esto se realizó dentro de una campana de extracción de vapores, ya que el proceso se lleva mediante una reacción exotérmica, la cual libera una gran cantidad de vapores altamente irritantes, como es el caso de los óxidos de azufre.

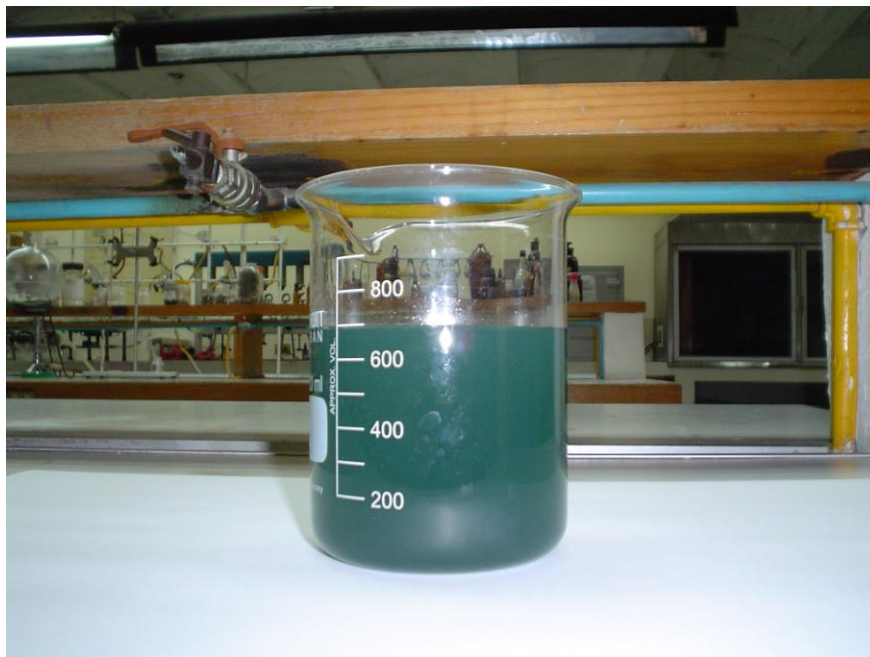


Fig. 3.1 Vaso de Precipitado de vidrio con AR-Cr

3.1.2 AGITACION

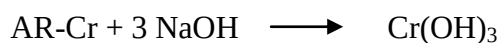
Una vez concluido el paso anterior, se toma la muestra residual y se colocó sobre un sistema de agitación a una velocidad moderada para evitar posibles derrames que pudieran resultar en contaminación de otras muestras, corrosión de equipos o el mas lamentable de todos, que el experimentando resultara severamente quemado, ya que el pH del agua residual era altamente ácido (pH 1.63).



Fig. 3.2 Vaso con AR-Cr sobre una parrilla de agitación, en la campana de extracción de vapores.

3.1.3 ALCALINIZACIÓN

Manteniendo la agitación constante del agua residual, se agrega NaOH (grado reactivo) en escamas, hasta lograr un pH de 10. Este se agregó en escamas para evitar el incremento del volumen.



Es muy importante mantener el pH en 10, ya que de lo contrario, los cristales que se obtendrían a pH menor serían de color café oscuro, lo cual sería indicativo de contaminación por hierro y la muestra no sería óptima.

Una vez finalizada la alcalinización de la muestra, se dió por concluido el proceso de agitación, dejando reposar la muestra durante 10 minutos para ayudar a la sedimentación de un sólido café- verdoso.

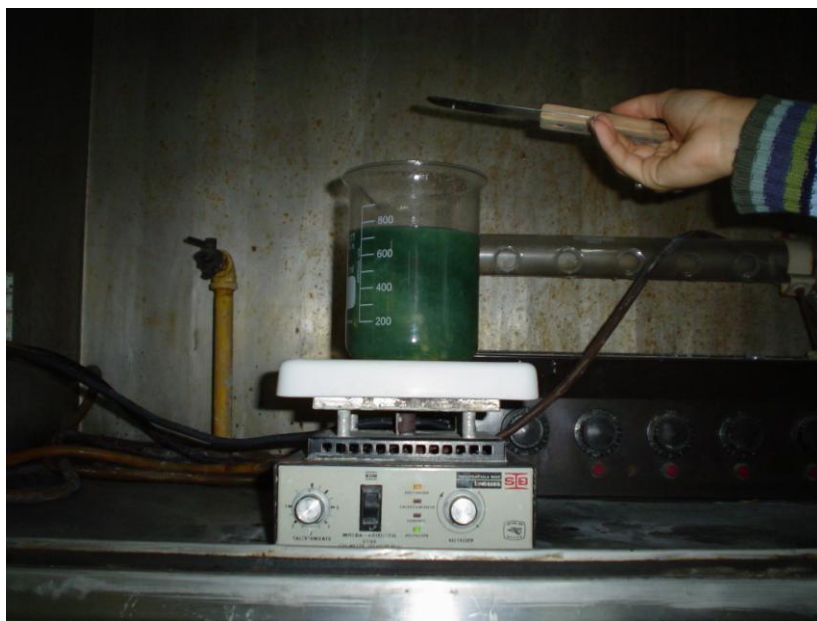
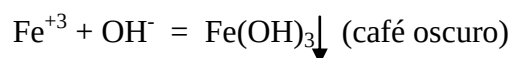
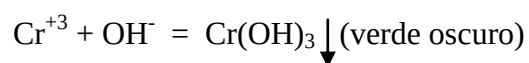


Fig. 3.3 AR- Cr, en proceso de alcalinización con NaOH

3.1.4 FILTRACION

Para que el desempeño de este paso fuese exitoso, se requirió de un matraz kitassato de 2L, un embudo buchner de 15cm de diámetro, celulosa del #2 y una bomba de vacío, una vez instalados el material y equipos, se filtró la muestra en caliente y la cual se ha sedimentado, haciendo pasar primero la fase líquida y al final el sólido sedimentado, donde se formará un sólido de color café-verdoso y como subproducto un líquido de color verde-olivo, el cuál se trasladó a un cristizador.

La fase sólida recuperada, se dejará reposar por 24 horas, ya que en caso de haber una ligera contaminación por sales, éstas se cristalizarán al término del tiempo recomendado y, posteriormente, se lavaran con agua destilada a una temperatura no superior a los 88°C así hasta que no haya presencia de alguna estructura cristalina.

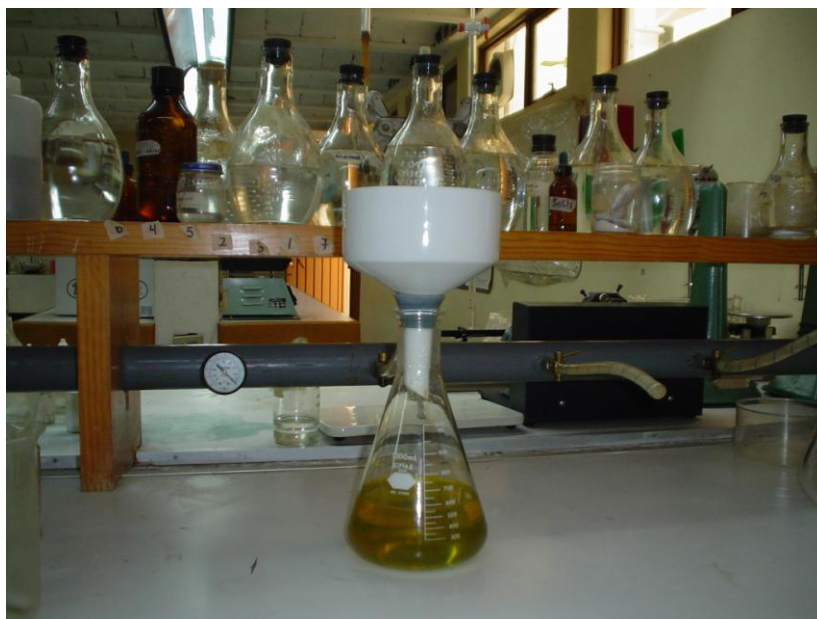


Fig. 3.4 Filtración del AR-Cr

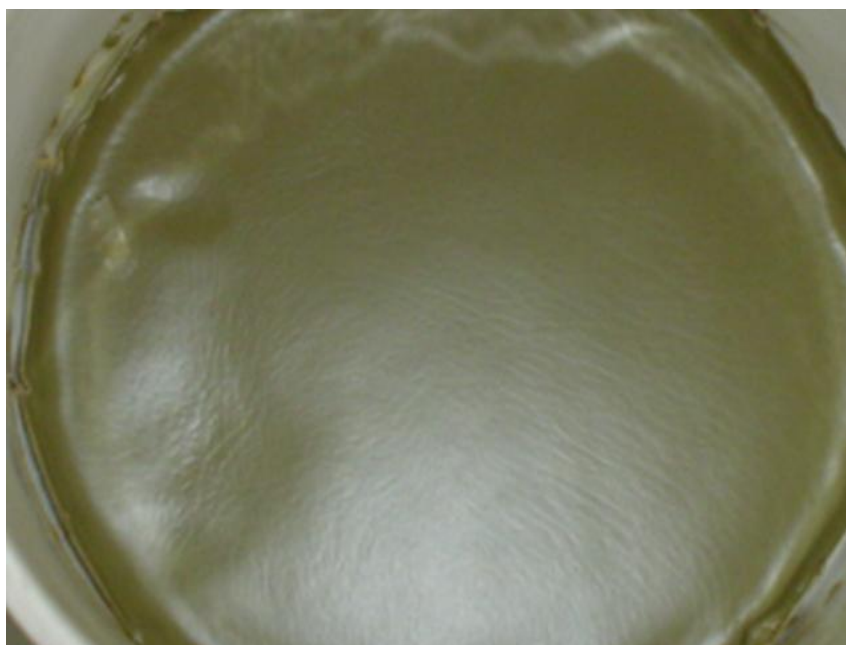


Fig. 3.5 Apariencia del sólido residual obtenido.

3.1.5 CRISTALIZACIÓN

El filtrado de color verde-olivo, se vertió en un cristizador de vidrio y este, se colocó en una parrilla de calentamiento a temperatura baja (low), evitando la ebullición del líquido al igual que el derrame de este, hasta la reducción del volumen del líquido en un 35%, en un tiempo aproximado de 2-2.5 horas. Con la finalidad de eliminar agua por evaporación y, por lo tanto, tener una mayor concentración de los contaminantes. La cristalización se realizó dentro de una campana de extracción, ya que no se descarta la emanación de contaminantes incluidos en los vapores desprendidos.

Transcurrido el tiempo propuesto, se retiró el líquido del calentamiento y se dejó cristalizar a temperatura ambiente, esto se logró con éxito a temperatura ambiente (20-22 °C) por un lapso de 24 horas. Los cristales obtenidos presentaron una coloración que va de blanco a Beige.



Fig. 3.6 Filtrado en parrilla de calentamiento, para reducir el volumen y tener un mayor éxito en la formación de cristales

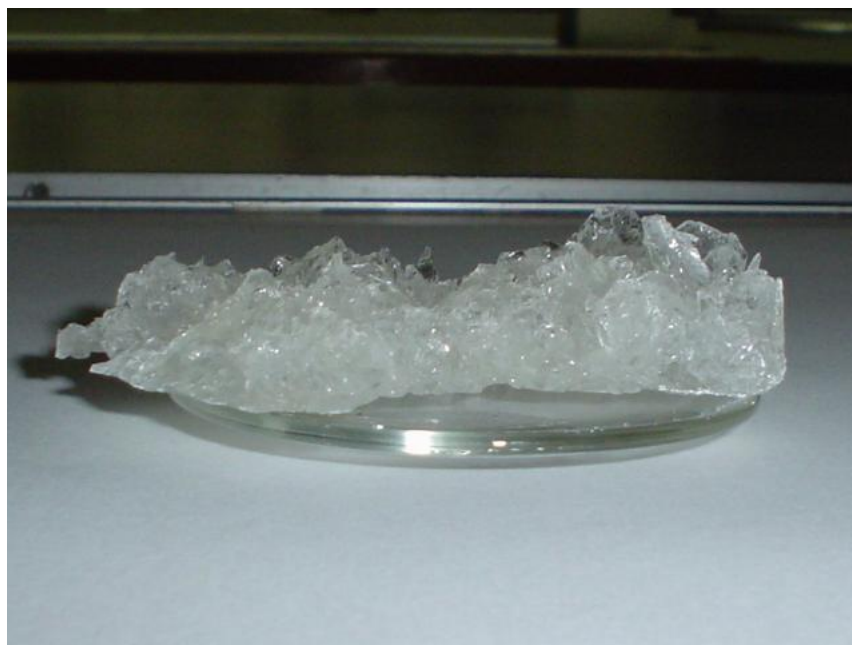


Fig. 3.7 Cristales hidratados (sales), obtenidos del proceso de cristalización

3.1.6 DESHIDRATACION

Finalmente los cristales obtenidos del paso anterior contienen en su estructura una gran cantidad de agua, la cual produce un mayor volumen de los mismos, y como se planteó anteriormente en los objetivos específicos, se pretende no dejar un residuo líquido, el cuál pueda ocasionar algún tipo de contaminación acuífera. Es por eso que estos deben pasar por un proceso de deshidratación, el cual se lleva a cabo en un horno de secado a una temperatura de 105°C hasta sequedad. Para después ser dispuestos finalmente en un contenedor para su almacenamiento.



Fig. 3.8 Cristales hidratados, en proceso de deshidratación

3.1.7 CALCINACION

Retomando el paso 3.3.4 (filtración), el sólido café-verdoso contenido en el buchner, previamente secado a temperatura ambiente por 24 hrs, se removi6 del filtro buchner para ser colocado en una capsula de porcelana, luego entonces, este material se calcin6 en una mufla a una temperatura constante de 800°C durante 2 horas. Al t6rmino de su calcinaci6n, el s6lido se dej6 enfriar, se retir6 de la c6psula de porcelana, d6ndonos como resultado final un s6lido de consistencia tierrosa, que observado detenidamente, mostraba tres coloraciones distintas: una estructura de color gris, otra de color negro y otra de color amarillo canario.

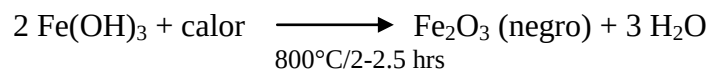
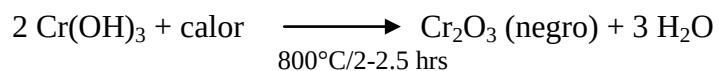




Fig. 3.9 Sólido residual recuperado durante la filtración en la cápsula de porcelana, para su calcinación



Fig. 3.10 Mufla, para calcinación del sólido residual



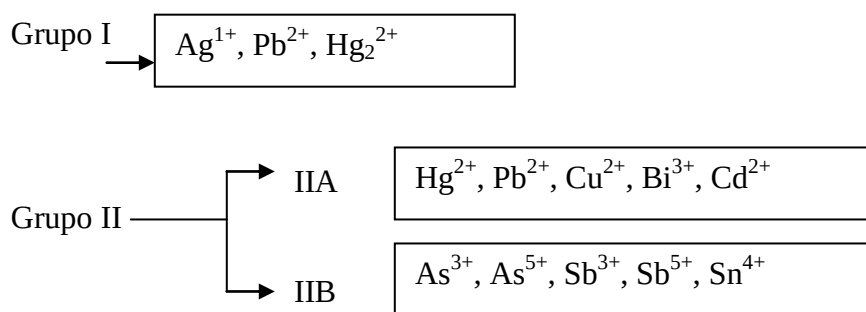
Fig. 3.11 Sólido residual, calcinado a 800°C / 2-2.5 hrs

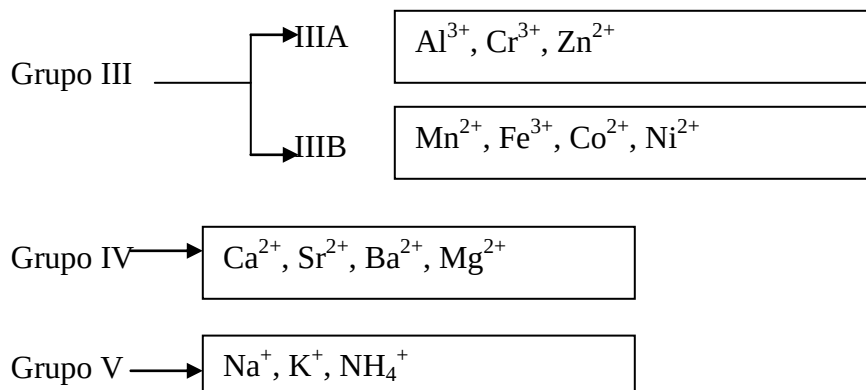
3.2 SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE CATIONES EN EL AR-Cr.

Para la identificación de los componentes de una muestra problema, se puede seguir el siguiente método:

- La Marcha Sistemática Analítica (MSA), que requiere la separación de grupos de cationes o aniones y posterior aislamiento de cada uno, para proceder su identificación. Comprende la identificación de 23 cationes. Estos cationes se ordenan para su reconocimiento en cinco grupos. Los grupos II y III, se subdividen en subgrupos, denominándose como: IIA, IIB, IIIA y IIIB.

Los cationes que integran estos grupos y subgrupos son:





Para aplicar la MSA, es necesario que la muestra-problema esté totalmente disuelta para tener sus componentes en forma de cationes y aniones.

La separación de los grupos, se hace mediante la adición sucesiva de los siguientes reactivos:

Grupo I. Acido clorhídrico, 3 M.

Grupo II. Sulfuro de Hidrógeno en un medio ácido, hasta saturación.

Grupo III. Sulfuro de hidrógeno en un medio alcalino, hasta saturación.

Grupo IV. Fosfato monoácido de amonio 0.5 M.

El grupo V, no tiene reactivo de separación ya que éste, es soluble con todos los reactivos de los demás grupos.

A continuación se detalla el procedimiento a llevar a cabo, para identificar y separar iones de la muestra:

3.2.1 Grupo I: Ag^{1+} , Pb^{2+} , Hg_2^{2+}

Procedimiento:

En un tubo de ensaye, se ponen 5ml de la solución problema y se le agregan dos ml de una solución, 3 M de HCl (que es el reactivo de separación). Se agita y se observa. Si la solución-problema se pone turbia, es probable que contenga los iones: antimonio y bismuto, o uno de estos ya que reaccionan con el reactivo formando los oxiclорuros correspondientes, (SbOCl y el BiOCl), que son de color blanco y precipitan. Sin embargo; estos compuestos en exceso de reactivo, se redisuelven por lo cual se adicionarán unas gotas más de HCl ayudándolo a la vez a que la precipitación del grupo I de cationes se haga más completa. Se agita. Si la turbidez desaparece y no se forma ningún precipitado, esto nos indicará que la solución-problema, no contiene el grupo I de cationes. Si por el contrario, se forma un precipitado totalmente definido y de color blanco, éste estará integrado por los cationes del grupo I.

3.1.2 Grupo II; Subgrupo IIA: Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Bi^{3+} , Cd^{2+} y Subgrupo IIB: As^{3+} , As^{5+} , Sb^{3+} , Sb^{5+} , Sn^{4+}

Procedimiento:

La solución, donde se encuentran disueltos los grupos del II al V, se trata con un ml de una solución 3 M de HNO_3 y se lleva a calentamiento a baño María, unos tres minutos con el objeto de oxidar los iones estanosos a estánicos ya que el sulfuro estanoso, SnS , es insoluble en las bases fuertes en cambio el estánico, SnS_2 , sí es soluble.

- Se adiciona una solución de hidróxido de amonio 3 M hasta que la solución sea ligeramente alcalina.
- Se añade una solución de ácido clorhídrico 3 M hasta tener una ligera acidez con lo cual, se redissolverá cualquier precipitado que se haya formado.
- Se lleva a una lenta evaporación, para reducir el volumen de la solución hasta casi la mitad. Si no se quiere hacer lo anterior, agregar directamente una solución 3 M de HCl en una relación de 0.2 ml de HCl, por cada ml de la solución por tratar.

El precipitado obtenido del procedimiento de precipitación del grupo II, contiene los cationes de este grupo en forma de sulfuros. Sino se agregó la sulfhidración, se lava el precipitado con unos 5ml de este reactivo lo que se hace burbujeando el H_2S en agua, hasta saturación. Se adicionan unas 10 gotas de una solución saturada de cloruro de amonio al

precipitado para retardar la oxidación de los sulfuros. Además; el NH_4Cl ayuda a romper cualquier dispersión coloidal que pudiera haberse formado.

Se ataca el precipitado con unos 4ml de Hidróxido de Potasio 3 M. Se agita y se lleva a calentamiento suave en baño María durante unos tres minutos. Se lleva a filtración. El residuo que haya quedado, se trata con otros 4 ml de KOH 3 M, se agita y se filtra. El filtrado obtenido en la primera separación se junta con la solución apartada en la segunda filtración. Esta solución contendrá en forma de complejos a todos los cationes de grupo IIB.

El precipitado o residuo que contiene el grupo IIA, se lava con unos 5ml de agua para eliminar el exceso de KOH , utilizado en la disolución del grupo IIB. Se tira el agua de lavado. Al residuo, se le adicionan unos 4ml de ácido nítrico 3 M y se lleva a calentamiento a baño maría, unos tres minutos. Se agita y se filtra, (el ataque con el HNO_3 , tiene por objeto disolver los sulfuros de: plomo, cobre, bismuto y cadmio; por medio de la oxidación del Ion sulfuro con el Ion nitrato, en un medio ácido, hasta azufre libre o elemental).

De la separación de los grupos IIA y IIB, se obtuvo un filtrado, el cual, contiene los cationes del grupo IIB, en forma de complejos y algo de Hg^{+2} , también como complejo. Al filtrado, se le adiciona ácido clorhídrico 3 M, hasta tener un medio ligeramente ácido y destruir así todos los complejos para precipitar los cationes como sulfuros. Se agita y se filtra. El filtrado se tira.

3.2.3 Grupo III; Subgrupo IIIA: Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} y Subgrupo IIIB: Mn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+}

Procedimiento:

El filtrado obtenido de la precipitación del grupo II de cationes (que ya fue tratado con el amoníaco y el cloruro de amonio), si se observa cuidadosamente, nos puede dar una buena información acerca de la existencia de los cationes del grupo III, por ejemplo si se formó un precipitado de color café rojizo que fue soluble en exceso de amoníaco, estará presente el ion férrico. Si se produjo un precipitado gelatinoso pero incoloro, es posible que exista el ion aluminio.

- El filtrado se lleva a sulfhidración hasta saturación en baño maría por lo menos unos 5 minutos. Se agita y se filtra. El filtrado, contendrá los grupos IV y V. El residuo el grupo III, en forma de sulfuros e hidróxidos.

- El filtrado se acidifica inmediatamente con HCl 3 M y se lleva a ebullición a baño maría hasta reducir a la mitad el volumen, si al hacer esto se forma un precipitado, se filtra y se tira éste. El filtrado se aparta y se cubre herméticamente para continuar posteriormente, con el análisis de los grupos IV y V. La presencia de un precipitado, se puede deber a que no se hizo una buena eliminación del Ion sulfuro en la acidificación y ebullición y sucederá que éste, se oxida lentamente hasta Ion sulfato, por la acción del aire ambiente. Si este precipitado no se separa, existe el peligro de que se pierdan algunos de los cationes del grupo IV, por haber pasado a sulfatos.

El residuo obtenido en la separación del grupo III, se trata con unos 2.5ml de HCl 12 M y se agita. Si se disuelve todo, nos indica que no hay níquel ni cobalto. Tómese en cuenta que los sulfuros de níquel y cobalto, se disuelven muy lentamente. Por otra parte; si algo queda sin disolver y solamente se solubiliza al adicionar el HNO_3 , se confirma la existencia de níquel, de cobalto o ambos.

- Se agregan 1.5ml de HNO_3 12 M y se lleva a calentamiento en baño María hasta tener todo el precipitado disuelto.
- Se alcaliniza la solución con KOH 3 M lentamente y agitando. Se añade alrededor de un gramo de peróxido de sodio, lentamente y agitando para que se produzca una acción espumante durante un minuto mínimo y conseguir la oxidación del ion cromito a cromato así mismo que los hidróxidos cobaltosos y ferrosos, pasen a cobálticos y férricos y el hidróxido manganesoso, pase como dióxido de manganeso hidratado.
- Después de la acción espumante del peróxido, se lleva a calentamiento a baño maría durante unos 3 minutos, se agita y se filtra. El residuo se lava con unos 5 ml de agua. Esta agua de lavado se junta con el filtrado.
- El residuo ya lavado, contiene los cationes del grupo IIIB, estando el manganeso en forma de dióxido de manganeso hidratado y el Fe, Co y Ni como hidróxidos.

El filtrado obtenido de la separación de los grupos IIIA y IIIB, contiene los cationes Al, Cr y Zn; en forma de aluminatos, cromatos y cromatos. Este, se trata con 5ml de una solución saturada de acetato de amonio y luego con ácido acético 3 M hasta tener ácida la solución. Se adiciona amoniaco 3 M hasta que la solución sea otra vez alcalina. En esta forma, se hace completa la precipitación de aluminio en forma del hidróxido por medio de la solución reguladora añadida y a la vez impide que precipite el cinc que seguirá como el complejo. Se agita y se filtra.

El residuo obtenido de la separación de los grupos IIIA y IIIB, se disuelve mediante el agregado de HCl concentrado (12 M), goteando y agitando. Se diluye con agua hasta tener un volumen total de 10 ml y se divide en 4 porciones más o menos iguales, para la identificación de cada uno de los cationes pertenecientes a este grupo uno por uno.

3.2.4 Grupo IV: Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+}

La solución o filtrado obtenido de la separación del grupo III que debe estar clara, se le adicionan unos 5ml de fosfato monoácido de amonio 0.5 M y amoniaco concentrado (12 M), hasta tener francamente amoniacal la solución. Se agita y se filtra.

- El filtrado, contiene los cationes del grupo V.
- El residuo, será un precipitado gelatinoso y contendrá los cationes del grupo IV, en forma de los fosfatos correspondientes a excepción del magnesio y amonio, hexahidratado, de apariencia cristalina. La precipitación del magnesio es mucho más lenta, si no existen los demás cationes del grupo en la muestra problema y se acelera en este caso, frotando las paredes del tubo de ensaye y la solución con un gendarme.

3.2.5 Grupo V: Na^+ , K^+ , NH_4^+

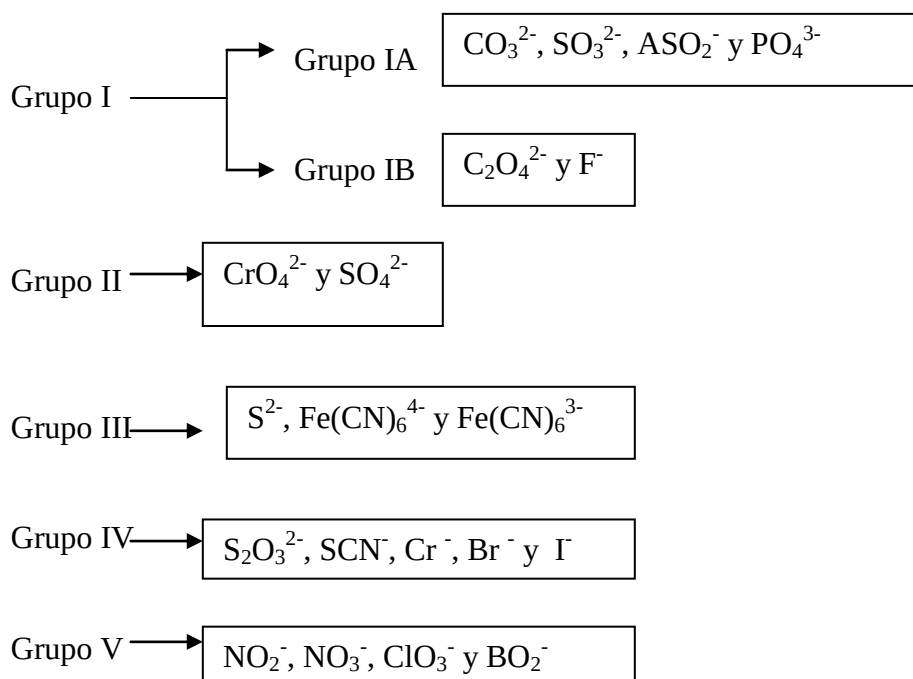
El residuo obtenido de la separación del grupo IV, se lava con unos tres ml de agua, tirándose el agua del lavado. Se añaden 2.5 ml de ácido acético 12 M agitando vigorosamente. Se diluye con agua hasta aforar a 10 ml, con el agregado del ácido acético; al diluir, se conseguirá la dilución. Se adicionan unos 2.5 ml de cromato de potasio 1 M y se agita fuertemente durante un minuto mínimo para asegurar la completa precipitación del bario en forma de cromato y se filtra.

3.3 SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ANIONES EN EL AR-Cr.

Wilhelm Bunsen(1978) Principios de la sistematización del análisis de los aniones dividiendo los “radicales Ácidos” en grupos para los efectos de su identificación, sin embargo aún no se conseguía todavía el que se pudiera trabajar en una sola muestra, toda la marcha.

Dobbins y Ljung(1935) Lograron realmente sistematizar una marcha similar a la de los cationes. Este procedimiento es bastante flexible y abarca la mayoría de los aniones que comúnmente se tienen en las muestras-problema.

Esta marcha, comprende 21 aniones, los cuales se agrupan como sigue:



El ordenamiento de estos grupos, se fundamenta en la solubilidad que presentan las sales de: Calcio, bario, cadmio y plata que se forman con los aniones de muestra-problema, según el medio en el cual se encuentran, ya sea ácido o básico, es decir:

Grupo I. Son los aniones de este grupo que con el ión calcio, forman sales que son insolubles en un medio ligeramente básico.

Grupo II. Son los aniones de este grupo que con el catión bario, forman sales insolubles en un medio ligeramente básico pero que con el catión calcio forman sales solubles en este medio.

Grupo III. Son los aniones de este grupo que con el cation bario, forman sales insolubles en un medio ligeramente básico pero que con los cationes calcio y bario, forman sales solubles en ese medio.

Grupo IV. Son los aniones de este grupo que con el catión plata, forman sales insolubles en un medio ligeramente ácido, (con ácido nítrico), pero que con los cationes: calcio, bario y cadmio, forman sales que son solubles en ese medio.

Grupo V. Son los aniones de este grupo que con los cationes: calcio, bario, cadmio y plata forman sales que son solubles en ácidos y agua.

Por lo anterior, los agentes precipitantes de cada grupo vienen a ser respectivamente: calcio, bario, cadmio y plata. Estos cationes, se agregan en forma de los acetatos correspondientes y como las soluciones acuosas que se forman, son ligeramente básicas debido a la hidrólisis, colaboran a mantener un pH conveniente.

Algunos aniones, forman sales poco solubles con un agente precipitante que no le corresponde. Por ejemplo: el ion sulfato, forma una sal poco soluble con el ion calcio, (el SO_4^{2-} está en el grupo II), por lo cual puede precipitar también en el grupo I.

3.3.1 Grupo I; Subgrupo IA: CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , ASO_2^- y PO_4^{3-} y Subgrupo IB: $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ y F^-

Identificación del carbonato

Se toman unos 5ml de la solución-problema y se tratan con 0.5g clorato de potasio y unos 5ml de ácido clorhídrico, 1.5 M. Si se produce una fuerte efervescencia, la reacción es positiva. La adición del KClO_3 , tiene por objeto oxidar los aniones: sulfito, sulfuro y tiosulfato en un medio ácido hasta sulfatos o azufre elemental ya que en esta forma; no se produce ninguna efervescencia y por tanto no interfieren.

Procedimiento

Habiendo realizado previamente la investigación del ion carbonato, en una porción que se separó de la solución-problema, se toman 10ml de la solución-problema original a los que se adicionan 10ml de agua y se lleva a calentamiento a baño maría por unos dos minutos. Se añaden 10ml de carbonato de sodio 1.5 M y se prosigue el calentamiento por unos 10 minutos más. Se repone el agua que se haya evaporado, se agita y se filtra. El residuo, contendrá los carbonatos e hidróxidos insolubles de los cationes de la muestra-problema, en forma de las sales solubles de sodio.

Si se investigó que los únicos cationes que contiene la muestra-problema original, sean los de: sodio, potasio, o amonio; no se dará el tratamiento con el carbonato de sodio y

solamente se ajustará el pH con KOH 3M, si es que la solución- problema está en un medio ácido. Si la solución problema tiene un pH muy elevado, se ajustará con ácido acético 2M. Si se precipita algo al hacer el ajuste del pH, se filtra para eliminar lo que se precipitó. El filtrado, contendrá los aniones de los grupos I al V.

El residuo obtenido de la separación del grupo I de aniones, se trata con unos 7ml de ácido acético 3M agitando mientras se hace la adición. Si queda algo sin disolver, esto nos indica que existen aniones del grupo IB. Se lleva a filtración. El filtrado contiene el grupo IA de aniones.

El filtrado de la separación de los grupos IA y IB, se divide en 4 porciones.

Identificación del sulfito. A la primera porción, se le añaden unas 10 gotas de HCl 12 M y 2.5ml de agua oxigenada. Si se forma un precipitado de color blanco, la reacción es positiva.

Identificación del arsenito. La segunda porción, se trata con un ml de HCl 3M y un ml de agua. Se lleva a calentamiento hasta ebullición y en caliente, se sulfhidra. Si inmediatamente se forma un precipitado de color amarillo, se habrá identificado en ion arsenito. Si el precipitado se forma después de estar sulfhidrado por lo menos un minuto, la reacción es positiva exclusivamente para el ion arseniato ya que se forma el pentasulfuro de arsénico, As_2S_5 , de color amarillo.

Identificación del Arseniato. La tercera porción, se trata con 10 gotas de HCl 3M y se lleva a calentamiento a baño maría durante dos minutos con el objeto de destruir el ion sulfito ya que éste, reacciona con el yodo liberado durante el ensaye para el ion arseniato. A la porción calentada en baño maría, se le agregan unos cristales de yoduro de potasio. Si la solución adquiere un color café, la reacción es positiva.

Identificación del fosfato. La cuarta porción, se trata con 2.5ml de HNO_3 12 M y un gramo de ácido tartárico, $H_2C_4H_4O_6$. Se agita vigorosamente y se adicionan en seguida, 2.5 ml de una solución de molibdato de amonio $(NH_4)_2MoO_4$ y se lleva a un calentamiento suave sin llegar a la ebullición, durante un minuto. Si se forma un precipitado abundante y de color amarillo, la reacción es positiva. Si el precipitado es de color blanco, no existirá el ion fosfato, sino que simplemente se habrá descompuesto el reactivo.

El residuo obtenido de la separación de los grupos I A y I B, se lava dos veces con agua, se tiran los lavados. El residuo lavado, se divide en dos porciones.

Identificación del Oxalato. Una de las porciones, se ataca con 5 ml de ácido sulfúrico 1.5 M y agitando todo el tiempo, se lleva a calentamiento en baño maría durante un minuto. Se agregan unas 10 gotas de permanganato de potasio 0.01 M. Si desaparece el color verde, dado por la solución del KMnO_4 , se habrá identificado el ion oxalato.

Identificación del Fluoruro. La porción restante, se pone sobre un vidrio de reloj cuya superficie esté limpia y no tenga rayaduras ni opacidades. Se lleva a baño maría con cuidado hasta que se seque bien el residuo. La eliminación de humedad es importante ya que la presencia de agua, interfiere en el ataque que el ion fluoruro va a efectuar sobre el vidrio, por formación del ácido silíceo que es insoluble, con el tetrafluoruro de silicio que es volátil. Una vez seco el residuo, se le adicionan unas 5 gotas de ácido sulfúrico 12 M y se continúa el calentamiento por otros 5 minutos. Se deja enfriar y después de haber pasado unos 20 minutos, se lava el vidrio de reloj. Si se nota que el vidrio de reloj se atacó en la zona donde se depositó el residuo, se confirma la existencia del ion fluoruro. Es conveniente dejar el mayor tiempo posible durante el enfriamiento, ya que se aumentan las posibilidades de su ataque.

3.3.2 Grupo II: CrO_4^{2-} y SO_4^{2-}

El filtrado obtenido de la separación del grupo I de aniones, si no presenta una coloración amarillenta, esto indica que no existe el ion cromato. Siendo el caso de que se observe una coloración amarillenta, es probable que esté presente el ion cromato sin embargo, hay que tomar en cuenta que los iones; ferro y ferricianuro del grupo III, si están en solución; le dan la misma coloración a esta.

El filtrado se trata con acetato de bario 1 M gota a gota y agitando, hasta que con una gota más ya no se precipite nada de la solución. Se agita y se filtra. Si el residuo que se obtuvo de la filtración, es de color blanco, esto nos indica que la solución-problema no contiene definitivamente el ion cromato, pero si el ion sulfato que está en forma de sulfato de bario debido a la reacción con el reactivo.

Identificación del Cromato. El filtrado obtenido deberá presentar un color amarillo si existe en ion cromato. Para confirmar su presencia, se le adicionan 2.5 ml de acetato de sodio 2.5M para tener un exceso de iones acetato con lo cual disminuirá la concentración de los iones hidronio y por efecto del ion común, hará que se precipite el cromato de bario que es de color amarillo.

Identificación del Sulfato. Si el residuo obtenido es de color blanco y al adicionar a éste 2.5 ml de ácido clorhídrico 3 M no se disuelve y la coloración sigue siendo blanca, se confirma la existencia del ion sulfato. La adición extra de HCl , tiene por objeto disolver los aniones del grupo I, que no pudieran haberse eliminado completamente en la separación de los grupos I y II.

3.3.3 Grupo III: S^{2-} , $Fe(CN)_6^{4-}$ y $Fe(CN)_6^{3-}$

La separación del grupo III se hace precipitándolo de la solución por medio del ion cadmio, (como acetato de cadmio), con lo cual se forman las sales de cadmio correspondientes todas ellas insolubles. En solución quedan los grupos IV y V.

Se presenta la posibilidad de que también precipite algo del ion borato en forma de metaborato de cadmio, $Cd(BO_2)_2$ y se forme algo de hidróxido de cadmio, sin embargo; siempre son en cantidades pequeñas de tal modo que no interfiere en la identificación de los aniones del grupo III.

3.3.4 Grupo IV: $S_2O_3^{2-}$, SCN^- , Cr^- , Br^- y I^-

El residuo obtenido de la separación de los grupos IV y V, se lava con unos 5 ml de agua acidulando ésta con unas gotas de ácido nítrico 3 M. Al lavado obtenido, se le adicionan unas gotas de ácido clorhídrico, 3 M, si se forma un precipitado de color blanco, este será cloruro de plata, si éste es el caso, se sigue lavando hasta que el agua de lavado ya no de reacción, con lo cual se asegura la eliminación del exceso de iones plata ya que estos, bajan la solubilidad del cloruro de plata en la solución amoniacal de nitrato de plata. Se da un último lavado con agua acidulada y finalmente un lavado con agua simple para eliminar el ácido nítrico. El residuo se trata con 5 ml de una solución de nitrato de plata, (reactivo de millar). Se agita y se filtra.

1. Identificación del ion cloruro. El filtrado obtenido se trata con ácido nítrico 3 M, hasta acidificar la solución. Si se forma un precipitado de color blanco bien definido, la reacción es positiva para el ion cloruro, al formarse el cloruro de plata. El sulfocianuro de plata, es algo soluble en el nitrato de plata amoniacal y puede formarse al acidular la solución, apareciendo como una nubosidad en ésta.
2. El residuo se divide en dos porciones una de las cuales será la tercera parte del residuo.
3. Identificación del Sulfocianuro. La parte más pequeña del residuo, se pone en una de las cavidades de una tableta de porcelana, o se usa un pedacito de crisol de porcelana. Se le adicionan unas gotas de ácido clorhídrico 3 M y unas 5 gotas de

cloruro férrico 1 M. Si aparece una coloración rojo sangre, se habrá identificado el ion sulfocianuro, por formación del complejo, sulfocianuro férrico $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{-3}$, que colorea fuertemente la solución.

4. La porción más grande del residuo, se pone en un tubo de ensaye y se le agregan unos 4 a 5 ml de agua y unos 5 g de Zinc en polvo se agita vigorosamente durante unos 3 minutos y se filtra.
5. Identificación del yoduro. El filtrado obtenido del inciso anterior debe estar ligeramente ácido. Si no lo está, acidular con ácido nítrico 3 M. Se le adicionan unos 5 ml de tetracloruro de carbono y unos 3 o 4 cristallitos de nitrito de sodio. Se diluye con agua hasta unos 10 ml de volumen total y se agita vigorosamente. Si aparece una coloración violeta en la zona donde está el solvente, tetracloruro de carbono se habrá identificado la existencia del anión yoduro.
6. La solución acuosa del inciso anterior se pone en una cápsula de porcelana y se le añaden 1.25 ml de ácido sulfúrico 1.5 M y se lleva a evaporación hasta que solamente quede la mitad del volumen original de la solución. Se deja enfriar y se pone en un tubo de ensaye. De éste, se toman unos 5 ml y se tratan con 5 ml de ácido nítrico 12 M y 5 ml de tetracloruro de carbono. Se lleva a calentamiento a baño maría por unos 20 segundos y se agita vigorosamente. Si aparece un color que va del amarillo al anaranjado en la capa del CCl_4 , se habrá identificado la existencia del ion bromuro.

3.3.5 Grupo V: NO_2^- , NO_3^- , ClO_3^- y BO_2^-

El filtrado obtenido de la separación del grupo IV de aniones, se divide en 4 porciones iguales.

1. Identificación del Clorato. A una porción, se le adicionan 2.5 ml de ácido nítrico 12 M y un ml de nitrato de plata 0.5 M y se agita. Se deja reposar unos 2 minutos y se filtra. Si se obtiene algún residuo, éste se tira. Al filtrado se le agregan unos 3 cristallitos de nitrito de sodio, se agita y si se observa que se ha formado un precipitado bien definido y de color blanco, se verifica la existencia del ion clorato.
2. Identificación del borato. Otra de las porciones, se pone en una cápsula de porcelana y se le añaden 2.5 ml de ácido sulfúrico 12 M, se lleva a evaporación a casi sequedad con el objeto de eliminar los iones nitrato y clorato que interfieren. Se deja enfriar y se adicionan unas 15 gotas de ácido carmínico, se lleva a

calentamiento suave. Si se observa que el color rojo de la mezcla, vira del azul-violeta, se habrá identificado el ion borato.

3. Identificación del nitrito. Otra porción del filtrado, se mezcla con un volumen igual de urea, disuelta previamente en una solución de ácido clorhídrico 3 M y se agita fuertemente. Si se nota un desprendimiento de gas, se habrá identificado el ion nitrito.
4. Identificación del nitrato. De la última porción, se toma una gota y se pone en una cavidad de una tableta de porcelana que se usa para el ensaye a la gota, o en un pedacito de crisol de porcelana. Se añaden dos gotas de ácido sulfúrico 12 M y una gota de alfa-naftalamina. Se deja reaccionar por unos 3 minutos. Si al cabo de este tiempo aparece un anillo de color púrpura alrededor de la gota del reactivo, la reacción es positiva para el anión nitrato. Este anillo y su coloración, desaparecen al poco tiempo.

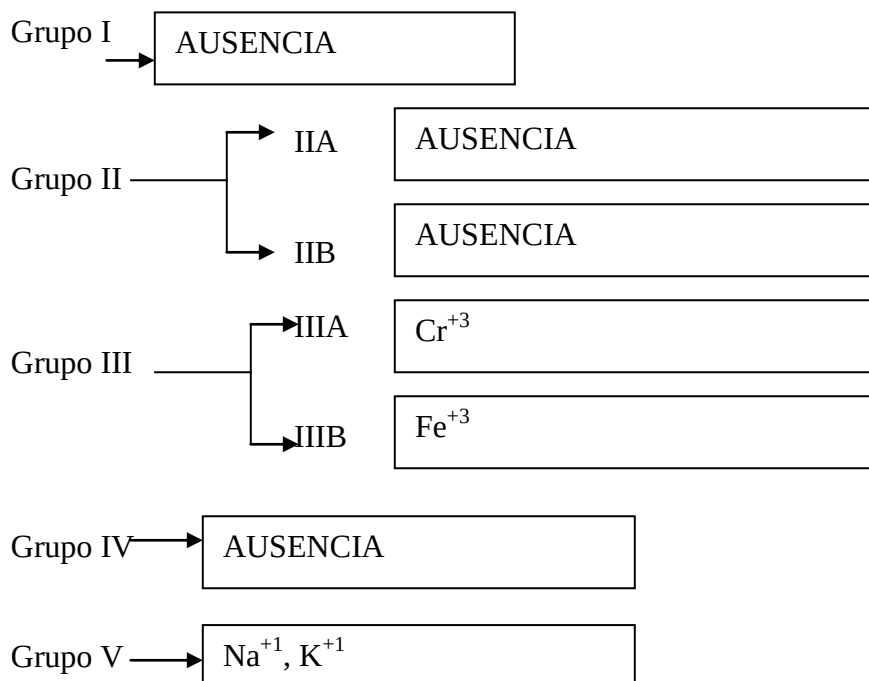
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AR-Cr

Una vez realizada la determinación de aniones y cationes al agua residual que se desea tratar, dio como resultado la presencia de ciertos agentes contaminantes, los cuales se muestran a continuación en los esquemas.

La Marcha Sistemática Analítica (MSA), que requiere la separación de grupos de cationes o aniones y posterior aislamiento de cada uno, para proceder a su identificación.

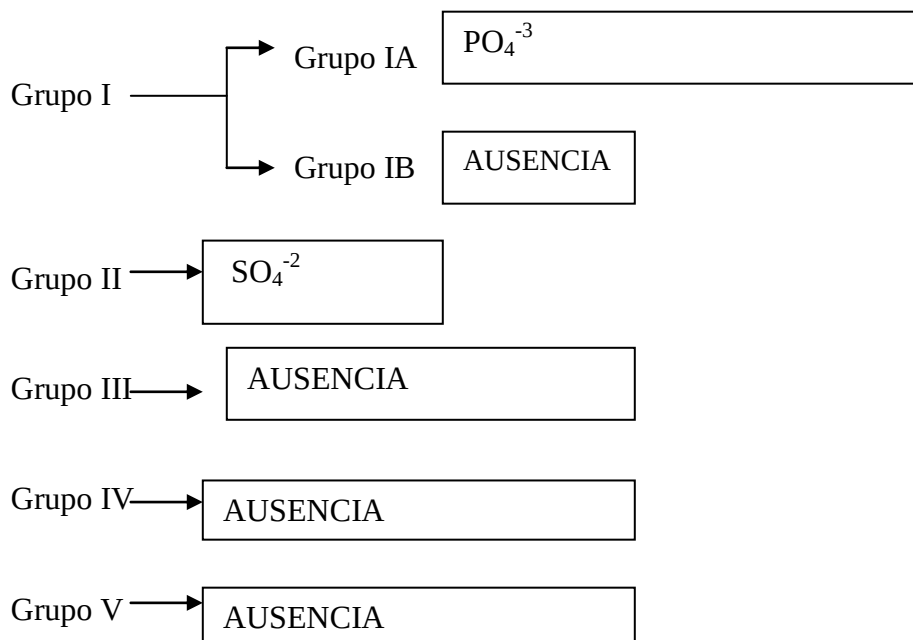
Comprende la identificación de 23 cationes. Estos cationes se ordenan para su reconocimiento en cinco grupos. Los grupos II y III, se subdividen en subgrupos, denominándose como: IIA, IIB, IIIA Y IIIB.

Los cationes identificados en estos grupos y subgrupos son:



Dobbins y Ljung (1935). Lograron realmente sistematizar una marcha similar a la de los cationes. Este procedimiento es bastante flexible y abarca la mayoría de los aniones que comúnmente se tienen en las muestras-problema (Cit. en Luna 1991).

Esta marcha, comprende 21 aniones, los cuales se integran en 5 grupos encontrando en el AR-Cr los siguientes:



Posteriormente, se procedió a la cualificación y cuantificación químicamente del sólido, producto final, obtenido de la estabilización y disposición del AR-Cr, mediante la técnica desarrollada en este trabajo de investigación, utilizando un microscopio electrónico de barrido de alto vacío (marca EDX) con sonda para el análisis elemental que se encuentra en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Cabe destacar que las muestras analizadas mediante microscopía, fueron tanto los sólidos de aspecto rocoso (fig. 4.1) resultantes del proceso de calcinación como las estructuras cristalinas deshidratadas (fig 4.2.) procedentes de su homología.

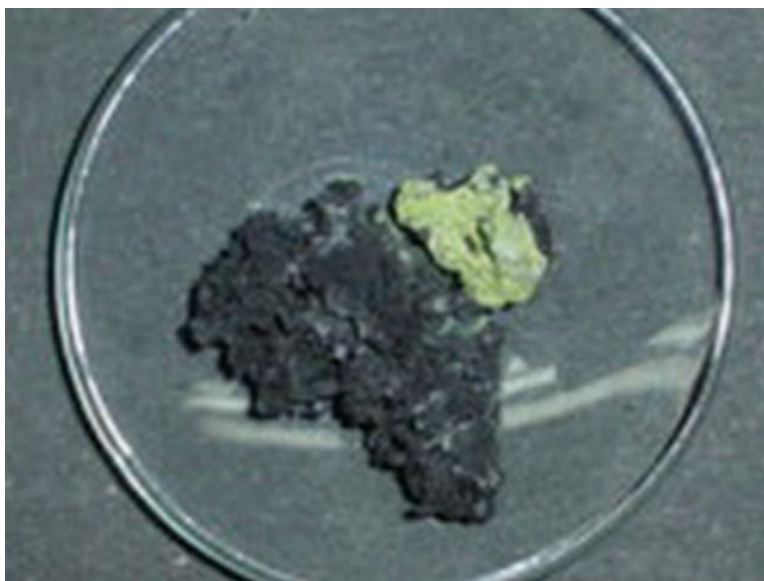


Fig. 4.1 Sólido de aspecto rocoso



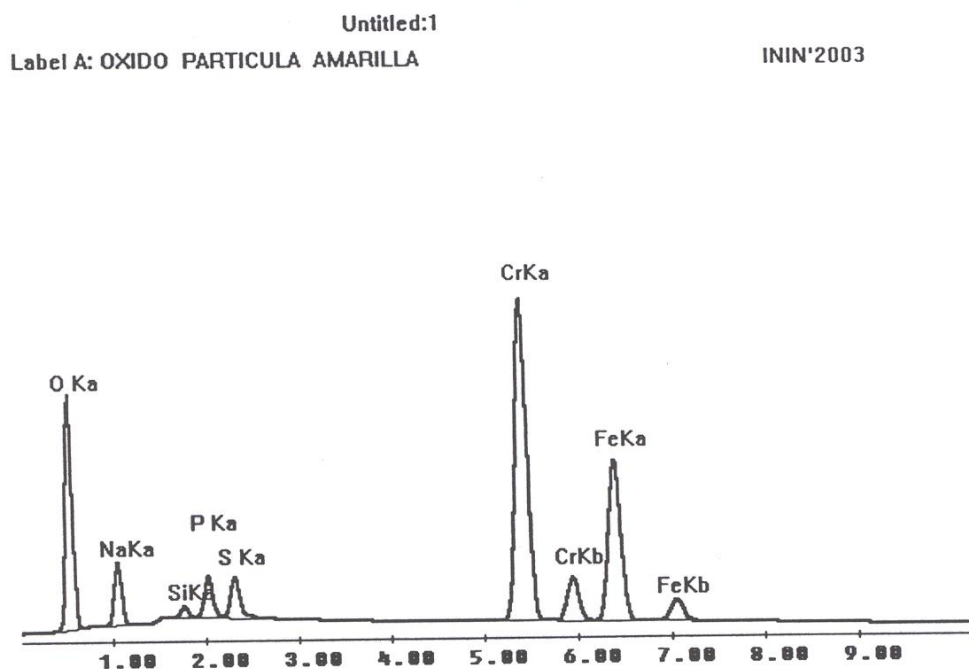
Fig. 4.2 Cristales deshidratados

Según Bazúa (1994), el sólido residual obtenido a partir del proceso de filtración para transformarlo a óxidos diversos y espinelas (cromita). Debería ser calcinado a 100°C durante 3-4 hrs.

El procedimiento de calcinación desarrollado en este trabajo de investigación fue diferente al propuesto por el autor, ya que al llevar a la muestra a esta temperatura, esta tendía a fusionarse por completo con la cápsula de porcelana, lo que hacía imposible su remoción de la misma, por lo que se experimentó con temperaturas diversas, obteniendo como la más eficiente, la temperatura de 800°C, por un tiempo de exposición de 2-2.5 horas.

La cuantificación de aniones y cationes en las partículas calcinadas, fue realizada mediante un microscopio electrónico de barrido al alto vacío. El cual es muy preciso en la cuantificación de los componentes de muestras a analizar, determinando la presencia de cualquier agente que esté presente en ella, por nimio que sea. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 4.1 Microanálisis del sólido (zona amarilla) obtenido a partir de la técnica de estabilización y disposición de AR-Cr, desarrollada en UPAEP.

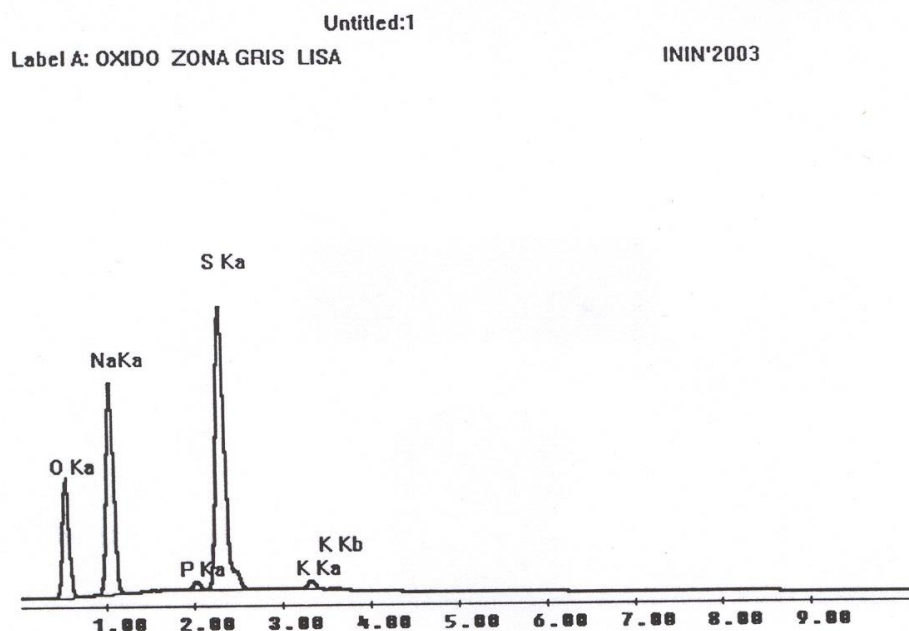


Cuantificación estandarizada

Elemento	% en peso	% Atómico	% Error
O	24.98	46.94	0.91
Na	11.4	14.9	1.81
Si	0.86	0.92	6.2
P	2.8	2.72	2.35
S	2.42	2.27	2.3
Cr	31.87	18.43	0.62
Fe	25.67	13.82	0.84
TOTAL	100	100	

En general, la composición elemental (Tabla 4.1) de la zona de coloración amarilla del sólido obtenido a partir de la técnica de estabilización y disposición del AR-Cr, desarrollada en este trabajo de investigación es: Cromo, hierro, oxígeno, sodio, fósforo, azufre y sílice, en orden de importancia.

Tabla 4.2 Microanálisis del sólido (zona gris), obtenido a partir de la técnica de estabilización y disposición del AR-Cr, desarrollada en UPAEP.

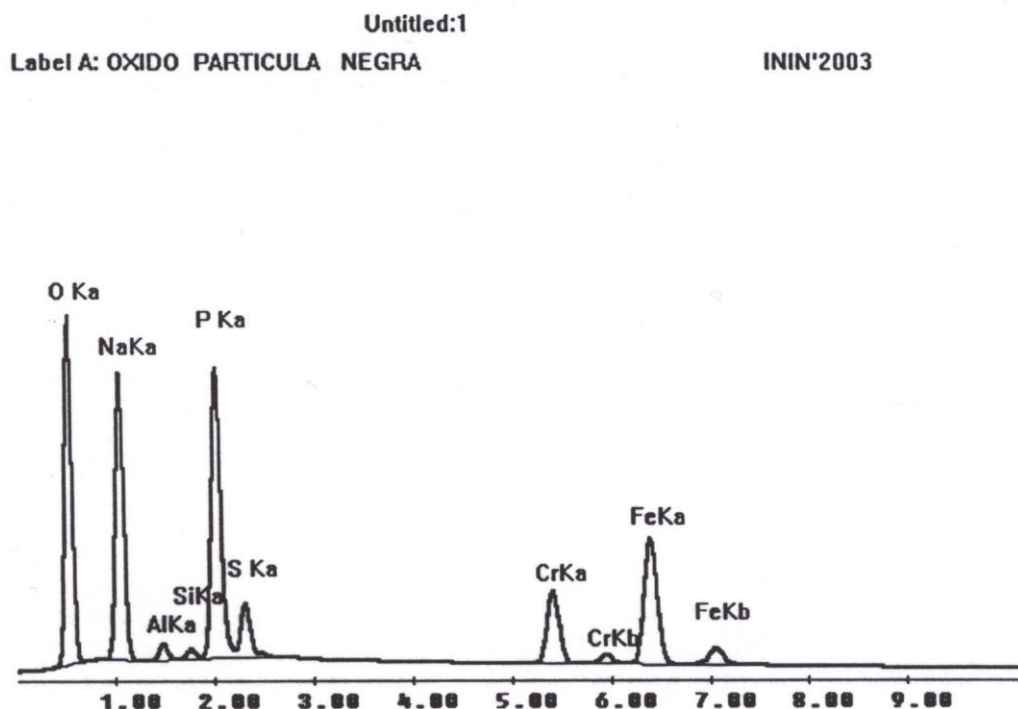


Cuantificación estandarizada

Elemento	% en peso	% Atomico	% Error
O	38.42	50.89	1.08
Na	32.64	30.09	0.79
P	0.81	0.55	5.68
S	27.09	17.91	0.63
K	1.04	0.56	4.88
TOTAL	100	100	

En referencia a la tabla 4.2, se aprecia la composición elemental, tanto cualitativa y cuantitativa del sólido obtenido (zona gris), a partir de la técnica de estabilización y disposición de AR-Cr desarrollada, la cual muestra ser: oxígeno, sodio, azufre, potasio y fósforo. De lo anterior, se observa una clara diferencia en cuanto a la composición química de la zona amarilla (tabla 4.1) y gris coexistentes en el mismo sólido, ya que ésta no contiene Cr y Fe, principalmente.

Tabla 4.3 Microanálisis del sólido (zona negra), obtenido a partir de la técnica de estabilización y disposición del AR-Cr, desarrollada en UPAEP.



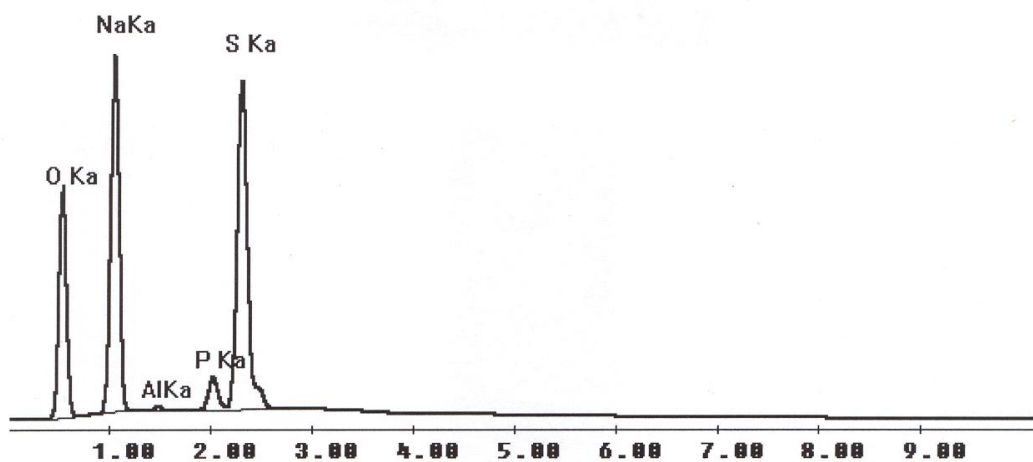
Cuantificación estandarizada

Elemento	% en peso	% Atomico	% Error
O	34.71	50.57	0.9
Na	26.17	26.53	0.98
Al	1.16	1	5.2
Si	0.53	0.44	7.82
P	14.32	10.78	0.9
S	2.75	2	2.29
Cr	5.75	2.58	1.6
Fe	14.6	6.09	1.14
TOTAL	100	100	

En la tabla 4.3, se observa que en la estructura, predomina el oxígeno, ya que tiene una presencia del 34.71%, sodio con un 26.17% en peso. La presencia del Cr(III) es del 5% y el Hierro (III) de 14.6%.

Tabla 4.4 Microanálisis del cristal deshidratado (color beige), obtenido a partir de la técnica de estabilización y disposición del AR-Cr, desarrollada en UPAEP.

D:\USR\CAMBIEN\CHELY\RIO\OPC-1.spc
 Label A: OXIDO PARTICULA CRISTALINA ININ'2003



Con respecto a la partícula cristalina, de color blanco, se observó la presencia de los siguientes cationes: sodio, aluminio; y aniones tales como: azufre, oxígeno, fósforo. La cuantificación de los mismos, no se realizó, ya que esta estructura no presenta a los cationes cromo (III) y hierro (III) en su composición, por lo cuál nos confirma que la filtración aplicada es eficiente.

4.2 DISCUSIONES.

- Para el desarrollo de la técnica de estabilización y disposición de AR-Cr, se procedió a realizar la marcha sistemática analítica (Luna, 1991), para corroborar que efectivamente se estaba trabajando con aniones y cationes estables, en especial el cromo, el cual dependiendo de su estado de oxidación puede causar un alto grado de toxicidad. El cuál fue determinado como Cr(III) que se cataloga como estable. Los efectos tóxicos del cromo están relacionados con su estado de oxidación, considerando que los mas estables termodinámicamente bajo condiciones ambientales son el Cr^{6+} y Cr^{3+} (Lester, 1987).
- Es importante resaltar que la identificación, fue realizada en la solución problema a tratar y los resultados arrojados fueron realmente los esperados, ya que en caso de haberse encontrado al catión Cr(VI), la técnica, se hubiese planteado de otra manera, ya que el desprendimiento de vapores que contuvieran a este catión, hubiese sido peligroso, dado que es un tóxico carcinogénico (Lu, 1992).
- Bazúa (1994), menciona en su investigación que el completo aislamiento de cromo y hierro, se logra únicamente con un filtro prensa, ya que este es capaz de remover el 98% del líquido que contenga la muestra, y por lo tanto, las sales que se encuentren disueltas en esta. Lo cuál hace que la fase experimental requiera de una mayor infraestructura, y dejaría de ser costeable para cualquier institución que trabaje con cantidades inferiores a los 1000L de AR-Cr, haciendo que la técnica sea única y exclusivamente de giro industrial.
- La celulosa #2 es de arduo desempeño (Lozano, 2003) logrando así el cumplimiento de uno de los objetivos de este trabajo el cuál va encaminado al aislamiento del cromo y hierro del resto de los contaminantes, en la fase cristalina del producto final del tratamiento.
- Cabe destacar que Lozano (2003), afirma que la celulosa #2 Watham, muestra una eficiencia en filtrado de soluciones que presenten temperaturas de hasta 110°C, lo cuál no concordó con la eficiencia mostrada en la fase experimental, ya que si la sustancia a filtrar superaba los 98°C, esta se perforaba y por lo tanto debía ser desechada para evitar una contaminación del filtrado por el sólido precipitado.
- Bazúa (1994). Propone en su investigación, la calcinación del sólido en un horno a 1000°C durante 3-4 horas para transformarlo a óxidos diversos y espinelas (cromita).

- El procedimiento de calcinación desarrollado fue diferente al propuesto por Bazúa (1994), ya que al llevar a la muestra a esta temperatura (1000°C), esta tendía a fusionarse por completo con la cápsula de porcelana, lo que hacía imposible su remoción de la misma, por lo que se experimentó con temperaturas diversas, obteniendo como la más eficiente, la temperatura de 800°C, por un tiempo de exposición de 2-2.5 horas.
- La cuantificación de aniones y cationes en las partículas calcinadas y deshidratadas, fue realizada mediante un microscopio electrónico de barrido al alto vacío. El cual es muy preciso en la cuantificación de los componentes de muestras a analizar, determinando la presencia de cualquier agente que esté presente en ella, por nimio que sea.
- En el óxido zona amarilla y zona negra, se encontró la presencia de silicio y con respecto a la partícula cristalina deshidratada, la presencia de Al, estas contaminaciones son debidas a que las muestras de suelo llevan en su composición ciertos minerales que se encuentran en forma de óxidos como en este caso: óxidos de silicio y aluminio (Thompson, 1962), los cuales son característicos de un suelo fértil, es decir con arduos contenidos de materia orgánica.

5.1 RECOMENDACIONES:

Con base a los resultados obtenidos en el estudio, en base a la experiencia de contacto físico con la técnica prototipo, se presentan las siguientes recomendaciones

- Cuando se alcalinice a la solución problema, evitar que el pH de esta, supere a 10.56, ya que a este pH, se produce una contaminación por hierro en el filtrado, el cual es muy difícil de remover de la solución y los cristales que se obtienen son de color café y no blanco como se pretende.
- Al realizar la filtración, se sugiere que la solución alcalinizada se encuentre en una temperatura no superior a los 95°C; debido a que la celulosa no tolera temperaturas superiores a los 98°C, aunque Lozano (2003), afirma que la celulosa es capaz de tolerar temperaturas de hasta 105°C, pero tampoco debe ser inferior a los 80°C, ya que conforme transcurre el tiempo, la solución problema se empieza a cristalizar (a una temperatura de 40 °C e inferiores), por lo que no es posible que todo el líquido sea filtrado.
- En la filtración usar celulosa del #2, ya que tiene un tamaño de poro de 8µm, la filtración es lenta y de alta retención (Lozano, 2003). Usar un embudo buchner de 15cm de diámetro. Es importante resaltar que la celulosa #2 en el embudo del diámetro anteriormente mencionado, tiene como capacidad máxima de filtración 750ml de solución problema, por lo que hay que estar cambiándola, cada vez que se filtre el volumen ya mencionado.
- La filtración óptima se lleva a cabo con la solución problema a una temperatura de 92°C, con una presión de 40-50 mmHg, ya que esto nos permite filtrar 1500ml de muestra problema en un tiempo promedio de 18 minutos. Es de suma importancia resaltar lo anteriormente mencionado, debido a que 1500ml de solución alcalinizada a 92°C, tarda 23 minutos en llegar a 40°C de temperatura y por consecuencia empezar a cristalizarse, obstruyendo así la sección cónica del embudo, impidiendo la continuidad del proceso.
- Transcurridas las 24 horas de reposo, sugeridas para el sólido residual, hacer un lavado con agua destilada del mismo, a una temperatura de 85-90 °C (para eliminar algún excedente de sulfatos o fosfatos que se hayan quedado en la muestra), no se pueden exceder estos límites de temperatura, ya que se corre el peligro de perforar la celulosa y por consecuente perder gran parte del sólido residual.

- La calcinación debe realizarse de acuerdo a la temperatura y tiempo de exposición sugerido, ya que si estos parámetros son inferiores, no se logra la completa oxidación de los hidróxidos contenidos en la muestra y si se excede, tanto al tiempo como a la temperatura que se sugieren, se corre el riesgo de fusionar a la muestra con la cápsula de porcelana que la contiene.
- Puede incluirse, esta metodología de estabilización de las aguas residuales, como una práctica de laboratorio dentro del programa escolar de la materia de Suelos, principalmente para los ingenieros ecólogos, ya que se llevan a cabo procesos químicos, como lo son las reacciones oxido-reducción, sustitución, así como procesos tales como: precipitación, cristalización. Con el objetivo de exacerbar su inquietud ecológica y despertar la búsqueda de soluciones a los distintos problemas ecológicos que se viven en la actualidad como posibles medidas de remediación o prevención de contaminación.
- En sí lo que se trata de expresar en esta investigación, es que al ser una técnica prototipo, no se cuentan con los elementos suficientes para asegurar que es el mejor tratamiento aplicable a la estabilización de las aguas residuales contaminadas por cromo, por lo que es necesario el analizar las emanaciones a la atmósfera procedentes del proceso de evaporación para hacer efectiva la cristalización; por lo que se sugiere que este paso (ver 3.1.5) sea tomado en cuenta para la elaboración de un próximo documento de tesis.

5.2 CONCLUSIONES:

Las aguas residuales ácidas con cromo, procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos, fueron estabilizadas y transformadas en óxidos de cromo (III) y hierro (III), de color negro; al igual que en una estructura cristalina, de color beige; que contiene fosfatos y sulfatos diversos. Obteniendo 5.3 Kg de Fosfatos y sulfatos diversos, contenidos en la estructura cristalina de color beige. Al igual que 0.87 Kg de óxidos diversos contenidos en la estructura de color negro. Como resultado final de la estabilización de 75L del agua residual estabilizada.

En base a lo anterior, se desarrolló una técnica prototipo para el tratamiento de las aguas residuales anteriormente mencionadas; las cuales son generadas en el Laboratorio de Suelos y Bromatología (en pocas cantidades, pero con carácter altamente corrosivo), perteneciente a la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP).

Esta técnica prototipo de tratamiento de aguas residuales, no solo se limita a los confines pertenecientes al Laboratorio de Suelos y Bromatología ó de la UPAEP en sí; sino que también se puede aplicar a cualquier institución gubernamental o privada que genere este tipo de efluentes contaminantes.

Debido a que uno de los objetivos de este trabajo era realizarlo económicamente viable, es decir sin necesidad de una gran inversión infraestructural; ya que para desarrollar esta técnica con eficiencia, únicamente se necesita el material comúnmente utilizado en un laboratorio de docencia universitaria y en caso de que no se trate de una institución escolar, el material y equipo utilizado es el de uso cotidiano en los laboratorios enfocados al análisis de suelos. Por lo que no existe limitante para establecer esta técnica de estabilización en los diversos laboratorios que generen estos contaminantes, aunque el giro de estos no sea exclusivamente educativo.

Es importante resaltar que esta técnica de estabilización de aguas residuales ácidas con cromo, procedentes de la determinación de materia orgánica en suelos únicamente es un prototipo, ya que por falta de recursos económicos, no se pudo hacer la cuantificación de los aniones y cationes contenidos en la muestra cristalina (ver sección 4.6); por lo que no se cumplió satisfactoriamente uno de los objetivos planteados en este documento, es decir, la cuantificación de aniones y cationes al 100%.

-
- Anonimo A. (2002). Los Minerales. Disponible: <http://www.losminerales.com/minerales.phtml>
 - Anonimo A. (2003). El suelo. Disponible: <http://club.telepolis.com/geografo/biogeografia/suelo.htm>
 - Aguamarket. (2003). Composición de las aguas residuales. Disponible: www.aguamarket.com/temas_interes/027.asp
 - Aguilar, S. A; Etchevers, B. J; Castellanos, R. J. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. México: Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.
 - American Water Works Association. (1968). Agua: su calidad y tratamiento. 2ª Edición. Unión tipográfica editorial hispano americana.
 - Aubert, H. y Pinta, M. (1977). Trace elements in soils. Elsier Scientific Publishing Company. Holanda.
 - Ayres, H. G. (1970), Análisis Químico Cuantitativo, Edit. Harla. México.
 - Bazúa, D. M. (1994). Tesis Profesional: Reutilización de ácidos de cromo: una metodología aplicable en ámbitos académicos e industriales. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Benzina, A. (2003). Suelos pobres, requieren materia orgánica. Disponible: <http://www.metabase.net/docs/pasolac/01113.html>
 - Blatta, S. L. (2000). Origen de la materia orgánica. Disponible: <http://www.terralia.com/revista8/pagina16>.

- Brown, L. T; Lemay, E. H; Bursten, E. B.(1991) , Química: La Ciencia Central, 5ª Edición. Edit. Prentice Hall. México.
- Coasty, R. (2003). Fosfatos. Disponible: <http://coasty.com/es/esphosphates.html>
- Day, R.A; Underwood, A. L. (1989). Química Analítica Cuantitativa . 5ª edición. Edit. Prentice Hall. México.
- Donahue, R. L., Millar, R. W; Shickluna J. C. (1975). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Edit. Prentice Hall. México.
- Englewood, C. (2003). Ashy-gray or gray-brown soil of pedalfer group. Disponible: www.webref.org/geology/p/podsol.htm
- Figueredo A (2002). El Hierro. Disponible: <http://www.ivu.org/ave/hierro.html>
- Godoy, S; Chicco, C. F. (1998). Biodisponibilidad de Fosforo de Fosfatos comerciales. Disponible: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/ztzoo/zt1601/texto/fosforo.htm>
- Godoy, S; Chicco, C. F. (1998). Biodisponibilidad de Fosforo de Fosfatos comerciales. Disponible: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/ztzoo/zt1601/texto/fosforo.htm>
- Hernández, S. R; Fernández C. C. y Baptista L. P.(1998). Metodología de la Investigación, 2ª Ed. Edit. McGraw Hill. México.
- Holkova, L. (1982). Química Analítica Cualitativa. Edit. Trillas. México.
- Ibáñez, B. B. (1996). Manual para la elaboración de tesis: Consejo nacional para la enseñanza e investigación en psicología. Edit. Trillas. México.
- Jackson, M. L. (1964). Análisis Químico de Suelos. 2ª Edición. Edit. Omega. España.

- Jiménez A. (2002). Metales de transición, propiedades comparadas. Disponible: <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/cr.html>
- Jurado, R. Y. (2002). Técnicas de investigación documental. Edit. Thomson. México.
- Kaufman, J. A. (1990). Waste Disposal in Academia Institutions. Edit. Lewis Publish Inc. EE. UU. A
- Kemmer, N. F. (1999) Water: The Universal Solvent, Edit. Nalco Chemical Company.
- Kirk-Othmer. (1979). Encyclopedia of Chemical Technology. Eds. John Wiley & Sons. Vol. 6. EE. UU. A.
- Klein, C. y Hurlburt, C. S. (1985). Mineralogy. John Wiley & sons. EE. UU. A.
- Lester, J. N. (1987). Heavy Metals in wastewater and sludge treatment processes. Vol 1. EE.UU.A: CRC Press Inc.
- Lozano, A. H. (2003). Ponencia: Teoría de la Filtración. México: Lauka Mexicana S.A. de C.V.
- Lu, F. C. (1992). Toxicología básica: Riesgo por exposición a sustancias tóxicas. Edit. Harla. México.
- Luengo L (2003). El agua: una extraña molécula. Disponible: <http://www.arrakis.es/~lluengo/agua.html>
- Luna, R. (1991). Fundamentos de Química Analítica Volumen 1. 3ª edición. México: Limusa.

- Luna, R. (1991). Fundamentos de Química Analítica Volumen 2. 3ª edición. Edit. Limusa. México.
- Martínez, G. M. (2000). Tesis Profesional: Remoción de cromo (VI) de agua de tenería, mediante hidrotalcitas. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Martínez, R. (2003). Ponencia: Sistemas para Análisis de Aguas. México: El Crisol S.A de C.V.
- Merian, E. (1991). Metals and their compounds in the environment Occurrence. Alemania: VCH Verlagsgesellschaft.
- Nicholas, D. J. D. y Egan, A. R. (1977). Trace elements in soil- plant-animal systems. Academic Press, Inc. EE. UU. A.
- NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México: DIARIO OFICIAL.
- NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal. México: DIARIO OFICIAL.
- Petzold G.(2003). Las Sales. Disponibles:
<http://www.geocities.com/CollegePark/Lab/2960/Fosfatos.html>
- Porta, C. J. *et al.* (1999). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Puc C. L.(2003). La geometría del agua. Disponible:
<http://www.puc.cl/quimica/agua/estructura.htm>
- Publicaciones Técnicas. (1993). Sistema de manejo de residuos de laboratorio. México.

- Romera, P. M. (2003). Materia orgánica en el suelo, como fuente de elementos de nutrición para las plantas. Disponible:
http://www.infoagro.com/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica18.asp.
- Secretaria de Salud (2001). El agua y sus características. Disponible:
<http://www.netsalud.sa.cr/aya/club/chapt01.htm>
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Ambiental (1996). Análisis de Aguas Residuales. México.
- Stallings, J. H. (1962). El suelo, su uso y mejoramiento. Compañía editorial continental. México.
- Thompson, L. M. (1962). El suelo y su fertilidad. Edit. Reverté, S.A. España.
- Villalobos- Pietrini, R. (1977). Efectos biológicos del cromo. Vol. 48. Instituto de Biología, UNAM. México.

ANEXO I

El presente anexo, muestra los diferentes materiales utilizados en el proceso del filtrado, tendiendo como objetivo principal, dar a conocer al lector la eficiencia de cada uno de estos, al igual que ayudar al mismo en la elección del material adecuado, en el caso de que esté interesado en someter a alguna sustancia, a algún proceso de filtración y esta pueda realizarse exitosamente.

Filtración. Es el proceso físico mediante el cual atrapamos contaminantes o material sólido para su posterior análisis, haciendo pasar un fluido por una superficie porosa de tal forma que separemos ambas fases.

Términos

Tamaño de poro. Se identifica por el diámetro de la partícula que se espera que vaya a detener con un grado elevado y definido de eficacia. Suele expresarse en micrómetros y se expresan en tamaños nominales o absolutos.

Tamaño de poro nominal. Describe la capacidad del material filtrante para retener la mayoría de las partículas (60-98 %) del tamaño indicado.

Tamaño de poro absoluto. Especifica el tamaño del poro al que una partícula será retenida con una eficacia al 100% bajo condiciones de ensayo estrictamente definidas.

Filtros. Estos se clasifican de la siguiente manera: hidrofílicos e hidrofóbicos.

Hidrofílicos. Son los comúnmente utilizados por su gran afinidad al agua.

Hidrofóbicos. Sólo se humectan con líquidos de baja tensión superficial como los disolventes orgánicos. Una vez que haya pasado el disolvente orgánico, pasará cualquier tipo de fluido, incluso agua, por lo que solo se puede utilizar una vez.

Absorción. Afinidad de adhesión de unas partículas con otras, lo cual puede ser una característica deseable.

Para realizar una filtración se pueden utilizar los siguientes materiales; dependiendo de el tipo de sustancia, cuantificación de filtrado y sobre todo infraestructura.

Celulosa

Fibra de vidrio

Nitrocelulosa

Celulosa pura

Celulosa con intercambio iónico

Nylon

Teflón

Sílica gel

Celulosa. Es el material comúnmente utilizado en el papel filtro y se clasifica de la siguiente manera.

1

Más utilizado de todos los papeles filtro

Retención media y flujo medio

11µm de tamaño de poro

Es el tradicionalmente utilizado en el análisis cualitativo

2

Mayor retención

Filtración más lenta

Utilizado en el análisis de aceites, grasas y en análisis atmosféricos.

Tamaño de poro 8µm

3

Retención de partículas finas

Recomendado para soluciones con grandes cantidades de precipitado

Tamaño de poro 9µm

4

Extremadamente rápida filtración

Recomendada para productos gelatinosos o abundante precipitado

Tamaño de poro 20-25µm

5

Gradote retención máxima

Filtración lenta

Recomendado para precipitado muy fino

Excelente para clarificaciones
Tamaño de poro 2.5µm

40

Clásico papel en análisis gravimétrico
Utilizado en el análisis de cemento, hierro y acero
Utilizado en análisis de leche y en absorción atómica
Tamaño de poro 8µm

41

El más rápido de los papeles cuantitativos
Recomendado para análisis de sustancias viscosas con gran contenido de precipitado
Tamaño de poro 20-25µm

42

Estándar del análisis gravimétrico
Retención de partículas finas
Tamaño de poro 2.5µm

Fibra de vidrio / Glas fibre (GF)

Excelente retención en tamaños micro
Análisis en altas temperaturas (500°C)
Capacidad para filtrar altos volúmenes
Gran estabilidad física y química

GF/A Y GF/B

Los mejores flujos de filtración
Tamaño de poro 1.6µm
Utilizado generalmente cuando se quiere clarificar o como prefiltros en análisis cuantitativos.

GF/C

Mayor retención que los 2 anteriores
Combina alta retención de partículas con un excelente flujo
Tamaño de poro 1.2µm

Celulosa pura

Utilizado en el análisis de ácidos nucleicos y cromatografía
Gran variedad de grados, dependiendo de si interesan las partículas o el filtrado

Celulosa con intercambio iónico

Utilizado para intercambiar los grupos dietileminoetil en el análisis de proteínas para analizar sustratos pépticos.

Nitrocelulosa

Utilizado para análisis microbiológicos
Se puede cambiar sin problema por esteres mixtos de celulosa o nitrato de celulosa
Posibilidad de esterilización mediante rayos gamma.

Anemia (del griego, 'sin sangre'), enfermedad de la sangre caracterizada por una disminución anormal en el número de glóbulos rojos (eritrocitos o hematíes) o en su contenido de hemoglobina. Los hematíes son los encargados de transportar el oxígeno al resto del organismo, y los pacientes anémicos presentan un cuadro clínico causado por el déficit de oxígeno en los tejidos periféricos. Existen diversas situaciones clínicas en las que están disminuidas las cifras de hemoglobina o la cantidad total de glóbulos rojos, sin que se pueda hablar de anemia: por ejemplo en situaciones en las que aumenta el volumen plasmático circulante como ocurre en el embarazo, en esfuerzos físicos intensos, o en situaciones de deshidratación.

Bórax, compuesto químico de fórmula $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (tetraborato de sodio decahidratado), que cristaliza en el sistema monoclinico, con una dureza de 2 y una densidad de $1,7 \text{ g/cm}^3$. Al calentarse se expande, pierde agua y se derrite fácilmente, formando una masa con apariencia de cristal. El bórax como mineral fue descubierto en el Tíbet, exportándose a Europa bajo el nombre de tincal. Hoy en día se explotan los grandes depósitos de bórax y metales afines existentes en California (EEUU), Stassfurt (Alemania), Toscana (Italia) y en el desierto de Atacama (Chile). La kernita o rasorita, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, es idéntica al bórax excepto por su contenido de agua, dureza (3) y densidad ($1,95 \text{ g/cm}^3$).

Carnalita, mineral graso de color marfil o rojizo. Es una fuente importante de compuestos potásicos para fertilizantes. Se encuentra en forma masiva en extensos yacimientos cerca de Stassfurt (Alemania); hay yacimientos menores en España, Alsacia, (Francia), en Polonia y en Irán. También se encuentran pequeñas cantidades de carnalita en los yacimientos de potasio en Texas y Nuevo México. Este cloruro de potasio-magnesio hidratado, $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es vítreo y muy soluble en agua.

Célula fotoeléctrica, componente electrónico basado en el efecto fotoeléctrico. En su forma más simple, se compone de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, de carga positiva, originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación. Las células fotoeléctricas pueden estar vacías o llenas de un gas inerte a baja presión para obtener una mayor sensibilidad. Una variante de la célula fotoeléctrica, el fototubo multiplicador o fotomultiplicador, consiste en una serie de placas metálicas dispuestas de forma que la emisión fotoeléctrica se amplifica mediante una emisión eléctrica secundaria. El fototubo multiplicador es capaz de detectar radiaciones extremadamente débiles, por lo que es una herramienta esencial en el área de la investigación nuclear.

Compuesto de coordinación, compuesto en el que un átomo metálico o un ion positivo se encuentra rodeado de moléculas neutras o iones negativos formando enlaces con él. Estos compuestos se utilizan como catalizadores y suelen ser coloreados, por lo que se emplean como colorantes o tintes. Se les denomina también complejos.

Cromita, mineral perteneciente al grupo de las espinelas. Está compuesta por cromato de hierro, FeCr_2O_4 . Cristaliza en el sistema cúbico, y tiene una dureza de 5,5 y una densidad relativa entre 4,1 y 4,8. Se encuentra en granos o cristales octaédricos de color negro-castaño o negro. La cromita es la mena principal de cromo. Hay grandes yacimientos de cromita en Kazajstán, Turquía, Zimbabue, Austria y zonas de la antigua Yugoslavia.

Dureza, capacidad de una sustancia sólida para resistir deformación o abrasión de su superficie. Se aplican varias interpretaciones al término en función de su uso. En mineralogía, la dureza se define como la resistencia al rayado de la superficie lisa de un mineral. Una superficie blanda se raya con más facilidad que una dura; de esta forma un mineral duro, como el diamante, rayará uno blando, como el grafito, mientras que la situación inversa nunca se producirá. La dureza relativa de los minerales se determina gracias a la escala de dureza de Mohs, nombre del mineralogista alemán Friedrich Mohs que la ideó. En esta escala, diez minerales comunes están clasificados en orden de creciente dureza recibiendo un índice: talco, 1; yeso, 2; calcita, 3; fluorita, 4; apatito, 5; ortosa (feldespato), 6; cuarzo, 7; topacio, 8; corindón, 9, y diamante, 10. La dureza de una muestra se obtiene determinando qué mineral de la escala de Mohs lo raya. Así, la galena, que tiene una dureza de 2,5, puede rayar el yeso y es rayado por la calcita. La dureza de un mineral determina en gran medida su durabilidad.

Edad del hierro, periodo histórico durante el cual el hierro reemplazó al bronce como material de fabricación de instrumentos y armas. La primera área geográfica en la que se trabajó el hierro de forma predominante fue Oriente Próximo y ello tuvo lugar hacia el siglo XIII a.C. El término edad del hierro hace referencia en Europa al periodo comprendido entre el final de la edad del bronce (c. 700 a.C.) y la expansión del Imperio romano (27 a.C.-68 d.C.), esto es, la última fase de la prehistoria europea antes de que la cultura romana trajera la alfabetización e impusiera una forma de vida radicalmente nueva. Desde este punto de vista, la edad del hierro continuó en aquellas zonas de Europa a las que las legiones romanas nunca llegaron (como Escandinavia, Alemania central o las zonas más remotas de Gran Bretaña) durante todo el Imperio romano. La edad del hierro comenzó en China hacia el 600 a.C.; en el África subsahariana hacia el 500-400 a.C., y en el sur de África hacia el 200 d.C.

Elementos de transición, grupo de elementos químicos que comparten estructuras orbitales electrónicas similares y por tanto tienen las mismas propiedades químicas. Se definen comúnmente como los 30 elementos con números atómicos de 21 a 30, de 39 a 48 y de 71 a 80.

Elemento químico, sustancia que no puede ser descompuesta o dividida en sustancias más simples por medios químicos ordinarios. Antigüamente, los elementos se consideraban sustancias fundamentales, pero hoy se sabe que consisten en una variedad de partículas elementales: electrones, protones y neutrones.

Se conocen más de 100 elementos químicos en el Universo. Aunque varios de ellos, los llamados elementos transuránicos, no se encuentran en la naturaleza, han sido producidos artificialmente bombardeando núcleos atómicos de otros elementos con núcleos cargados o con partículas nucleares. Dicho bombardeo puede tener lugar en un acelerador de partículas (como el ciclotrón), en un reactor nuclear o en una explosión nuclear.

Energía nuclear, energía liberada durante la fisión o fusión de núcleos atómicos. Las cantidades de energía que pueden obtenerse mediante procesos nucleares superan con mucho a las que pueden lograrse mediante procesos químicos, que sólo implican las regiones externas del átomo. La energía de cualquier sistema, ya sea físico, químico o nuclear, se manifiesta por su capacidad de realizar trabajo o liberar calor o radiación. La energía total de un sistema siempre se conserva, pero puede transferirse a otro sistema o convertirse de una forma a otra.

Espinela, mineral compuesto por aluminato de magnesio, MgAl_2O_4 . Cristaliza en el sistema cúbico, en cristales hexaédricos con lustre vítreo. Cantidades variables de impurezas, como hierro, manganeso y cromo, proporcionan distintos colores al mineral: rojo, violeta, azul, verde, castaño o negro. La variedad roja límpida, que es aluminato de magnesio casi puro, se conoce como espinela de rubí o rubí balaje. El color de la espinela con cromo varía desde el ocre hasta el verde y se conoce como picotita. La dureza del mineral es de 8 y su densidad relativa oscila entre 3,5 y 4,1. Las variedades transparentes y algo coloreadas se usan como gemas. Muchas espinelas gema son de la variedad roja rubí. Éstas se hallan en las arenas de Sri Lanka y de Madagascar. Las espinelas corrientes se encuentran en Estados Unidos. Se han obtenido unas 200 espinelas sintéticas diferentes.

Éster (química), en química orgánica, compuesto formado (junto con agua) por la reacción de un ácido y un alcohol. Puesto que este proceso es análogo a la neutralización de un ácido por una base en la formación de una sal, estos compuestos se pueden obtener a partir de ácidos orgánicos y de ácidos inorgánicos. Por ejemplo, un éster simple, el nitrato de etilo, se puede preparar a partir de etanol y ácido nítrico (un ácido inorgánico), y el etanoato de etilo haciendo reaccionar etanol y ácido etanoico (un ácido orgánico).

Feldespatos, grupo extenso de minerales compuesto por aluminosilicatos de potasio, sodio, calcio o, a veces, bario. Se encuentran como cristales aislados o en masas y son un constituyente importante de muchas rocas ígneas y metamórficas, incluyendo el granito, el gneis, el basalto y otras rocas cristalinas.

Halógenos (del griego hals, 'sal'; genes, 'nacido'), en química, cinco elementos químicamente activos, estrechamente relacionados —flúor, cloro, bromo, yodo y astato—, que forman el grupo 17 (o VIIA) del sistema periódico. El nombre halógeno, o formador de sal, se refiere a la propiedad de cada uno de los halógenos de formar, con el sodio, una sal similar a la sal común (cloruro de sodio). Todos los miembros del grupo tienen una valencia de -1 y se combinan con los metales para formar halogenuros (también llamados haluros), así como con metales y no metales para formar iones complejos. Los cuatro primeros elementos del grupo reaccionan con facilidad con los hidrocarburos, obteniéndose los halogenuros de alquilo.

Hematites, mineral y mena más abundante de hierro; compuesta por óxido de hierro, Fe_2O_3 . Está ampliamente distribuida, encontrándose en rocas de todas las épocas. Entre las regiones con mayor contenido de hematites del mundo están las orillas del lago Superior en Michigan (Estados Unidos) y yacimientos extensos en Brasil.

Hemoglobina, pigmento especial que predomina en la sangre cuya función es el transporte de oxígeno. Está presente en todos los animales, excepto en algunos grupos de animales inferiores. Participa en el proceso por el que la sangre lleva los nutrientes necesarios hasta las células del organismo y conduce sus productos de desecho hasta los órganos excretores. También transporta el oxígeno desde los pulmones o branquias, donde la sangre lo capta, hasta los tejidos del cuerpo. Cuando está saturada de oxígeno, se llama oxihemoglobina. Después de liberar esta molécula en los tejidos orgánicos, invierte su función y recoge el principal producto de la respiración celular o

dióxido de carbono. La hemoglobina transporta esta molécula hasta los pulmones para su espiración, y en esta forma se denomina carboxihemoglobina.

Hidrocarburos, en química orgánica, familia de compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. Los hidrocarburos se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclicos. En los compuestos de cadena abierta que contienen más de un átomo de carbono, los átomos de carbono están unidos entre sí formando una cadena lineal que puede tener una o más ramificaciones. En los compuestos cíclicos, los átomos de carbono forman uno o más anillos cerrados. Los dos grupos principales se subdividen según su comportamiento químico en saturados e insaturados.

Magnetita, mineral y mena común del hierro, cuya composición es Fe_3O_4 . Es un potente imán, y cristaliza en el sistema cúbico, o isométrico, por lo general en masas granulares, aunque también en forma de cristales octaédricos. De color negro hierro y opaca, con brillo metálico, su dureza es de 5,5 a 6,5, y su densidad relativa, de 5,18. Los mayores depósitos de magnetita del mundo se encuentran en el norte de Suecia. Hay yacimientos importantes en Noruega, Rumania, la antigua Unión Soviética, Suráfrica y Estados Unidos.

Pirita, o ferropirita, mineral compuesto por sulfuro de hierro, FeS_2 , mineral sulfuroso más común. Cristaliza en el sistema cúbico y se encuentra, con frecuencia, en forma de cristales bien definidos tanto como en formaciones masivas. El mineral es amarillo latón, opaco y tiene un brillo metálico. La pirita es un mineral común en las rocas sedimentarias y también se encuentra en rocas ígneas y rocas metamórficas. Suele estar asociado con formaciones de carbón y, a veces, con oro y con cobre.

podsol .Suelo altamente blanqueado, bajo en hierro y cal, formado bajo condiciones húmedas y frescas. Suelos ácidos con translocación de materia orgánica. Su capacidad de intercambio catiónico es elevada y está más relacionada con la cantidad de materia orgánica que con la de arcilla.

Salitre o Nitro, mineral blanco, translúcido y brillante compuesto por nitrato de potasio, KNO_3 . Cristaliza en el sistema ortorrómbico en prismas que tienen una dureza de 2, una densidad relativa de 2,1 y que presentan una segmentación en forma de cúpula. El mineral forma costras delgadas en las superficies de las rocas y en las paredes de piedra, y es un componente del horizonte superficial de algunos suelos en España, Irán, Egipto y la India. El salitre tiene importancia comercial como fertilizante y conservante alimenticio, para fabricar vidrio, y en algunas medicinas como diurético.

Siderita, mineral pardo o castaño oscuro, transparente o translúcido, con lustre graso, compuesto por carbonato de hierro, FeCO_3 . Cristaliza en el sistema romboédrico (véase Cristal) y puede encontrarse en grandes formaciones mezclada con arcilla. Su dureza varía entre 3,5 y 4, y su densidad relativa entre 3,83 y 3,88. Cuando se calienta adquiere un magnetismo fuerte. La siderita se ha extraído desde hace mucho tiempo como mena importante de hierro en Inglaterra, Escocia, Alemania y Austria.

Siderurgia, tecnología relacionada con la producción del hierro y sus aleaciones, en especial las que contienen un pequeño porcentaje de carbono, que constituyen los diferentes tipos de acero y las fundiciones. A veces, las diferencias entre las distintas clases de hierro y acero resultan confusas por la nomenclatura empleada. En general, el acero es una aleación de hierro y carbono a la que suelen añadirse otros elementos. Algunas aleaciones denominadas “hierros” contienen más carbono que algunos aceros comerciales. El hierro de crisol abierto y el hierro forjado contienen un porcentaje de carbono de sólo unas centésimas. Los distintos tipos de acero contienen entre el 0,04 y el 2,25% de carbono. El hierro colado o fundición contiene entre un 2,25 y un 5% de carbono. Hay una forma especial de hierro maleable, prácticamente sin aplicaciones (sólo se emplea para construir núcleos de hierro en las bobinas eléctricas), que no contiene casi carbono. Para fabricar aleaciones de hierro y acero se emplea un tipo especial de aleaciones de hierro denominadas ferroaleaciones, que contienen entre un 20 y un 80% del elemento de aleación, que puede ser manganeso, silicio o cromo.

Sistema periódico o Tabla periódica, esquema de todos los elementos químicos dispuestos por orden de número atómico creciente y en una forma que refleja la estructura de los elementos. Los elementos están ordenados en siete hileras horizontales, llamadas periodos, y en 18 columnas verticales, llamadas grupos. El primer periodo, que contiene dos elementos, el hidrógeno y el helio, y los dos periodos siguientes, cada uno con ocho elementos, se llaman periodos cortos. Los periodos restantes, llamados periodos largos, contienen 18 elementos en el caso de los periodos 4 y 5, o 32 elementos en el del periodo 6. El periodo largo 7 incluye el grupo de los actínidos, que ha sido completado sintetizando núcleos radiactivos más allá del elemento 92, el uranio.

Valencia (química), número que representa la capacidad de un átomo o radical individual para combinarse con otros átomos o radicales. El valor expresa el número de electrones que un átomo puede dar a —o aceptar de— otro átomo (o radical) durante una reacción química.