

17

2 Ejen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

**"EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA
RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE
ACABADOS METALICOS Y SU EMPLEO COMO
AGUA DE RIEGO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ILIANA CARRILLO ALVAREZ

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas 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 imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA.**

JURADO ASIGNADO

Presidente: Jesús González Pérez
Vocal: José Luz González Chávez
Secretario: Rodolfo Torres Barrera
1er. Suplente: Hilda Elizabeth Calderón Villagomez
2o. Suplente: Víctor Manuel Luna Pabello

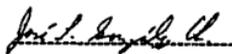
Sitio donde se desarrolló el tema:

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Laboratorio Agrológico

Asesor del Tema:

Dr. José Luz González Chávez



Supervisor Técnico:

Ing. Jaime Ortiz Sánchez



Sustentante:

Srita. Iliana Carrillo Alvarez



Dedico esta tesis a:

Mis padres: Rosa María y Humberto,
porque siempre han sido mi apoyo,
y han sabido guiarme. Este logro es
por y para ustedes.

Erika: porque el apoyo verdadero se de-
muestra en los momentos más difíciles,
espero que sepamos aprovechar todas
las oportunidades que la vida nos brinda.

Jumbo: porque tu nobleza es lo máximo
y me ha enseñado a amar, has estado
conmigo en las buenas y en las malas,
viviste los desvelos, disfruta este trabajo.

A.S.B. sabes que T.Q.C.T.M.C.

Gracias a:

**La UNAM, por brindar educación y
ayudar a la formación de profesionales
de alto nivel.**

**La Facultad de Química y sus maestros,
que con dedicación y amor a su carrera
tienen la capacidad de transmitir sus co-
nocimientos.**

**Dr. Jose Luz González Chávez, por sus
atinados comentarios, su ayuda desinte-
resada, su experiencia, sus conocimien-
tos y su invaluable colaboración en la di-
rección de este trabajo.**

La Comisión Nacional del Agua, por ser una Institución que brinda apoyo a los recién egresados, logrando con esto que el estudiante culmine su educación profesional.

A la Licenciada Adriana Maya por su apoyo administrativo en la elaboración de esta tesis.

Al Ingeniero Jaime Ortiz Sánchez por su apoyo técnico, y su aportación en la dirección de este trabajo.

Al Ingeniero Castro, Señora Oli, Señora Martha, Angel y Señor Felipe, por su valiosa ayuda en la realización experimental de las pruebas de caracterización.

Agradezco en especial a:

Mi abuelo Emilio (+) que me enseñó que sólo existe un momento para demostrar lo que sentimos: cuando estamos vivos. Donde quiera que te encuentres, te llevo en mi corazón.

La Señora Jose, que me enseñó mis primeros pasos por la vida, y que le retribuía con un amor muy especial.

Las familias Contreras Godinez, Sanson Figueroa, Madrigal, Mendoza, y quienes por una razón olvide, porque han demostrado ser una gran familia y eso es lo que significan para mí.

La familia Avarez Nambo, porque a pesar de los problemas que se presentan, siempre estamos juntos.

Mi tío Jose Luis por mantener siempre ese espíritu alegre y don de gente que lo caracterizan.

La familia Juárez, y en especial a la Señora Irma, por su confianza, amistad y apoyo incondicional.

Todos aquellos amigos y familiares que me han visto crecer, y de alguna manera han tenido que ver en mi formación humana y profesional.

INDICE.		1
I.	Introducción.	3
II.	Generalidades.	7
	2.1	Características de las aguas residuales. 7
	2.1.1	Características Físicas. 8
		2.1.1.1 Sólidos Totales. 8
		2.1.1.2 Temperatura. 9
		2.1.1.3 Color. 9
		2.1.1.4 Olor. 9
		2.1.1.5 Conductividad Eléctrica 9
	2.1.2	Características Químicas. 10
		2.1.2.1 pH. 10
		2.1.2.2 Compuestos Orgánicos. 10
		2.1.2.3 Boro. 11
		2.1.2.4 Sodio. 11
		2.1.2.5 Potasio. 11
		2.1.2.6 Calcio y Magnesio. 11
		2.1.2.7 Carbonatos y Bicarbonatos. 12
		2.1.2.8 Cloruros. 12
		2.1.2.9 Sulfatos. 12
		2.1.2.10 Aluminio. 12
		2.1.2.11 Metales Pesados. 13
		2.1.2.12 Oxígeno Disuelto. 13
		2.1.2.13 DBO y DQO. 13
	2.1.3	Características Biológicas. 14
		2.1.3.1 Microorganismos. 15
		2.1.3.2 Descomposición. 15
	2.2	Sistemas de Tratamiento. 15
		2.2.1 Tratamiento Preliminar. 15
		2.2.2 Tratamiento Primario. 16
		2.2.3 Tratamiento Secundario. 16

	2.2.4	Tratamiento Terciario.	16
2.3		Cantidad de agua residual generada en el país.	17
2.4		Características del agua residual proveniente de la industria de acabados metálicos.	22
2.5		Calidad del agua residual para riego agrícola.	24
	2.5.1	Aspecto Jurídico.	26
	2.5.2	Normatividad.	27
2.6		Características del suelo.	30
2.7		Características de los cultivos.	33
III.		Aluminio.	36
	3.1	Consideraciones Generales.	36
	3.2	Propiedades y aplicaciones del Aluminio.	36
	3.3	Toxicología.	38
	3.3.1	Efectos en agua, suelo, aire y cultivos.	39
	3.3.2	Efectos en el ser humano.	40
	3.4	Tratamiento para la eliminación del Aluminio.	41
IV.		Parte Experimental, Cálculos, Resultados y Discusión.	49
	4.1	Caracterización inicial del agua residual.	49
	4.2	Eliminación del Aluminio en laboratorio.	50
V.		Conclusiones.	53
VI.		Bibliografía.	55
VII.		Anexos.	57

I. INTRODUCCION

Nuestro país enfrenta actualmente grandes retos, primero, satisfacer la demanda de agua por la población y la industria, y segundo, tratar la cantidad del agua residual generada, a fin de disponer o utilizar este recurso para actividades de recreo, industriales y agrícolas, cuidando la salud de la población y el medio ambiente, lo cual representa un gran reto a corto, mediano y largo plazo.

Para la mayoría de los sectores de México, existe el problema de falta de agua, debido a la creciente demanda de los mismos. Las principales causas de este desabasto son: la cantidad disponible, zona geográfica en que se encuentra el demandante del servicio, cantidad y calidad del agua residual generada, falta de infraestructura de tratamiento y el mal manejo del recurso, entre otros factores.

Tanto el agua municipal como el caudal industrial son considerados componentes de la cantidad de agua residual generada en el país. Desgraciadamente en las plantas de tratamiento existentes, no se tiene una infraestructura que aporte de manera eficiente un tratamiento, tal que se tenga una calidad de agua residual tratada para poder ser empleada como agua de reuso, y esto es debido a la mala o nula operación de cada planta de tratamiento.

La calidad del agua residual se expresa en función de sus niveles de contaminación, producto de un acelerado crecimiento de la población y la industria, así como los daños probables a la salud pública y al medio ambiente. Se consideran los microorganismos y sustancias tóxicas, entre los que se pueden encontrar detergentes, grasas y aceites y metales pesados, la menor o mayor cantidad de ellos depende de si las aguas descargadas son de origen doméstico o industrial

La contaminación ocasiona malestares tanto a la vida como a la salud terrestres, debido a que alguna sustancia o la combinación de varias de ellas causa alteraciones en el funcionamiento de órganos y sistemas vitales en cada organismo.

De acuerdo con valores anuales reportados por la Secretaría de Salud se conoce que las defunciones debidas a enfermedades intestinales ocupan el tercer lugar, después de otros males, tales como accidentes, enfermedades, alteraciones cardiacas y tumores cancerígenos aunque en caso de no tomar medidas y se dan soluciones inmediatas se ocupará el primer lugar.

Actualmente, pensando en resguardar la salud de la comunidad, se inicio la nueva cultura del agua, atendiendo por decreto presidencial la creación del programa "Agua Limpia", el cual considera los servicios de agua potable, alcantarillado y cloración, así como el tratamiento de aguas residuales y su aprovechamiento. La Comisión Nacional del Agua, tiene entre sus planes prioritarios darle impulso a esta idea, promoviendo que se respete la legislación correspondiente, de tal forma que el agua que proviene de las industrias reciba un tratamiento adecuado, y se piense en un posible uso posterior.

Entre los puntos principales a seguir con la propuesta se contemplan: la participación activa de los diversos grupos ecologistas y de la sociedad; el establecimiento mediante estudios realistas, de la calidad del agua potable y de las aguas residuales, fijando los límites máximos y mínimos permisibles de contaminantes y nutrientes presentes; el implantar el uso de tratamiento avanzado para los problemas que así lo requieran; se propone tratar la mitad del agua residual municipal producida en el país mediante lagunas de oxidación y la otra mitad será tratada mediante tratamiento biológico, para poder ser incorporada a mares y ríos. Del agua residual industrial se propone llevar a cabo un tratamiento que permita la recuperación del agua de desecho para darle prioridad a aquellas comunidades que carecen de agua potable, y así al efectuar el tratamiento, esta agua puede ser empleada por la misma industria o de preferencia que salga a la agricultura para mejorar este sector productivo del país.

Dicho tratamiento para el agua residual industrial incluye la creación de plantas de tratamiento que empleen cualquier tipo del mismo, como podrían ser: físico, biológico y químico, tratando de que la calidad del agua cumpla con las normas emitidas para tal efecto.

Del riego total en el país, sólo el 8 % se realiza con agua residual. A nivel nacional, entre los cultivos irrigados con aguas residuales, destacan productos como: maíz, frijol, trigo, sorgo, algodón, alfalfa, etc., y los contaminantes más frecuentes son: coliformes, tóxicos, nutrientes, grasas y aceites.

En cuanto a la normatividad, la Ley Federal de Aguas señala las siguientes obligaciones: Vigilar que la calidad de las aguas residuales cumpla con las normas emitidas para tal efecto. Promover y realizar medidas necesarias para evitar que las aguas residuales contaminen cuerpos receptores. Controlar las descargas de aguas residuales en el drenaje y alcantarillado.

En las Normas Técnicas Ecológicas o Norma Oficial Mexicana, según sea el caso, se encuentran los criterios establecidos para la concentración de elementos presentes en las aguas, no importando la procedencia de éstas, sino su destino.

El aluminio ha sido considerado como no tóxico y no absorbible por el tracto gastrointestinal. Estudios recientes han demostrado que la inhalación o ingestión del aluminio o sus compuestos son absorbidos ligeramente. Su eliminación del cuerpo ocurre por la orina. En el cerebro, pueden ocurrir afecciones en el sistema nervioso central.

El aluminio al ser un elemento tan común, se presenta en los suelos como componente del 3 al 10%. La naturaleza de los componentes del aluminio presentan baja solubilidad en niveles de pH por arriba de 5.5.

Generalmente, la concentración de aluminio en lagos y ríos es muy baja. A niveles de pH cercanos a 5.5, el nivel de aluminio en lagos es, como regla, menor a 100 microgramos de aluminio por litro. A pH menores de 5.5, la solubilidad de la mayoría de los compuestos del aluminio aumenta rápidamente. En aguas superficiales y subterráneas con pH menores de 5.5, las concentraciones de aluminio son de 0.1 a 0.7 mg de aluminio por litro. En aguas ácidas, las concentraciones de aluminio alcanzan hasta 1 mg por litro. En agua de mar, el nivel de aluminio es probablemente de 1 microgramo de aluminio por litro.

En el aire, tiene niveles de 1 microgramo de aluminio por m^3 en áreas no contaminadas, mientras que en áreas industrializadas se presentan niveles por arriba de 10 microgramos por m^3 .

En plantas, el aluminio es medianamente tóxico. En suelos ácidos reduce la productividad del mismo y el crecimiento de algunos árboles frutales.

El aluminio presenta un comportamiento anfótero, por lo que su eliminación por un tratamiento específico presenta diversos problemas. El aluminio se hidroliza fácilmente, alrededor de pH 4 se presenta la formación de $Al(OH)_3$ insoluble, y a pH de 10, se forma el anión $Al(OH)_4^-$ (aluminato). El primero, comienza su precipitación a pH cercano a 3 en soluciones diluidas; mientras que el último, es responsable de la redisolución del aluminio en forma de aluminato.

En este trabajo, se estudia la posibilidad de tratar un agua residual (mezcla de enjuagues) proveniente de una industria de acabados metálicos (anodizado de placas de aluminio), mediante una precipitación, principalmente del aluminio, ya que es el elemento que se encuentra en mayor concentración en estas aguas. Se seleccionan las condiciones de menor solubilidad basándose en los diagramas de solubilidad aparente para el aluminio, y considerando el intervalo de pH señalado en las normas oficiales para el agua que será utilizada para fines de riego.

También se da una propuesta para el tratamiento a seguir en la eliminación de los contaminantes, dando la alternativa de implantar un sistema de tratamiento anexo a la planta de acabados metálicos o integrar uno a la misma sin modificar su estructura.

En general, el impacto que se tiene en la utilización de esta agua en la agricultura, repercute fuertemente en la economía del país, debido a que se abaten los gastos del gobierno para tratar el agua residual y enviarla a los principales centros de consumo.

II. GENERALIDADES

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales las podemos clasificar en dos tipos:

- a) aguas residuales domésticas.
- b) aguas residuales industriales.

Las primeras son aquellas originadas en los elementos sanitarios de las viviendas, edificios comerciales, fábricas, etc. Mientras que las segundas surgen como consecuencia de la actividad productiva de las fábricas de papel, plásticos, químicos, fertilizantes, procesadoras de alimentos, plantas de acabados metálicos, etc.

Las aguas residuales comunmente son arrojadas al desagüe sin verificar su utilidad en otros procesos o en el que fueron originadas, tomando en cuenta que pueden ser empleadas para fines diversos.

La red de alcantarillado transporta parte de las aguas residuales de la Ciudad a puntos determinados donde se ubican las plantas de tratamiento y evacuación. Estas aguas residuales deben ser analizadas para determinar el tipo de tratamiento que se debe aplicar. De igual manera, después del tratamiento, es importante realizar algunos análisis a las aguas residuales ya que los resultados que éstos arrojen nos darán la pauta para poder elegir la operación más factible de reutilización.

Los análisis realizados en las aguas residuales pueden ser clasificados en físicos, químicos y biológicos.

Los parámetros químicos se expresan generalmente por medio de la unidad que es el miligramo por litro, y en sistemas como aguas naturales o residuales, equivale a tener ppm (partes por millón).

Se considera que los gases disueltos son constituyentes químicos, y se miden en miligramos por litro. Los gases desprendidos como subproductos del tratamiento de las aguas residuales, tales como metano y nitrógeno se miden en litros y metros cúbicos.

Para determinar las características del agua residual, se realizan análisis en función del reuso de esta agua, estas características se dividen en:

- a) Características Físicas.
- b) Características Químicas.
- c) Características Biológicas.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

Las características físicas más importantes son los sólidos en cualesquiera de sus formas, el contenido total de los sólidos se compone por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución, otras características físicas son la temperatura, el color, el olor y la conductividad eléctrica.

2.1.1.1 SÓLIDOS TOTALES.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento del uso industrial, y doméstico. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, trituradores de basura. Los sólidos totales pueden dividirse en materia volátil y materia fija, la materia volátil se presenta como materia orgánica. Los sólidos sedimentables son los materiales que se pueden separar por simple sedimentación, y constituye una característica de facilidad para la formación de lodo de las aguas residuales.

La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se depositarán en el fondo de un recipiente, durante un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se elimina mediante una sedimentación. Esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos.

La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10^{-3} y 1 micra. Los sólidos disueltos se componen de moléculas e iones presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción de sólidos coloidales no puede eliminarse por sedimentación, se requiere por lo general, una coagulación u oxidación biológica seguida de una sedimentación para eliminar estas partículas en la suspensión.

2.1.1.2 *TEMPERATURA.*

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, en la velocidad de reacción y en la aplicación del agua a múltiples usos. [1]

Debe tenerse en cuenta que un cambio repentino de temperatura puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática, las elevadas temperaturas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura se aplica a los cálculos de las distintas formas de alcalinidad y en los estudios de estabilidad y saturación con respecto al CaCO_3 . En estudios limnológicos se necesita conocer la temperatura de las aguas a distintas profundidades, y en las aplicaciones industriales, a menudo se requiere de la temperatura para cálculos sobre la transmisión calorífica o para la aplicabilidad a distintos pasos.

2.1.1.3 *COLOR.*

El agua residual reciente, dependiendo de su procedencia, puede ser incolora, amarillenta o gris, sin embargo, los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color se oscurece. En esta condición se dice que el agua residual es séptica.

2.1.1.4 *OLOR.*

Los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual tiene microorganismos que reducen los sulfatos a sulfitos, y se desprende un olor a sulfuro de hidrógeno.

2.1.1.5 *CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.*

Se define como la expresión numérica de la capacidad y habilidad de una solución acuosa de conducir una corriente eléctrica. Su valor, puede indicar cuando un agua residual es apta o no para un uso al cual se ha destinado, ya que la conductividad depende de los iones disueltos de una solución.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

Un análisis químico con fines de sanidad proporciona datos útiles y específicos con respecto al estado de descomposición. El agua residual contiene compuestos químicos de naturaleza orgánica e inorgánica.

2.1.2.1 *pH*.

El pH se usa como medio para expresar la concentración del ión hidronio en una solución. En ciertas reacciones biológicas y químicas que se producen en soluciones acuosas, la concentración del ion hidronio, tiene importancia vital.

Su escala práctica es de cero, muy ácido; a 14, muy básico, con un valor medio de 7 que corresponde a neutro a 25°C.

En ciertos procesos que se producen en solución, se debe mantener el pH entre ciertos límites dependiendo de las características deseadas para el mismo. El agua residual con una concentración alta de iones hidronio es difícil de tratar por medios biológicos, a no ser que se realice una neutralización previa.

Para fines de riego es mejor mantenerla en niveles básicos, ya que muchos de los contaminantes metálicos no son adsorbidos por la planta en un medio que junto con el nivel de suelo se mantiene como básico.

2.1.2.2 *COMPUESTOS ORGÁNICOS.*

Incluyen los residuos que se descargan a la red de alcantarillado y los productos de su degradación pueden distinguirse entre grasas, proteínas y carbohidratos.

Los compuestos orgánicos están generalmente formados por una combinación de carbono, azufre, fósforo, y hierro en algunos casos. Entre los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual, se encuentran las proteínas en un porcentaje comprendido entre 40 y 60% del total, los carbohidratos entre 25 y 50%, y las grasas y aceites alrededor del 10%.

El agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede variar desde muy simple hasta muy compleja. La presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años el tratamiento de las aguas residuales, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse biológicamente.

2.1.2.3 BORO.

La determinación del boro en aguas, desechos industriales y efluentes de aguas negras es importante para la agricultura. En exceso, el boro es venenoso para ciertas plantas, mientras que otras son afectadas por concentraciones bajas.

Las cantidades más elevadas de boro se encuentran en suelos neutros o alcalinos, en los que se presentan condiciones de escasa precipitación.

2.1.2.4 SODIO.

El sodio se encuentra presente en la mayoría de las aguas naturales y se llega a encontrar en concentraciones altas en aguas ablandadas por procesos en los que el calcio y el magnesio se han permutado por sodio. Una alta proporción de sodio es dañina para la permeabilidad de los suelos.

2.1.2.5 POTASIO.

Constituye por lo general, una de las fuentes principales de la radiactividad de las aguas naturales profundas, por la actividad del isótopo K^{40} que se presenta naturalmente.^[1]

2.1.2.6 CALCIO Y MAGNESIO.

Las sales de calcio y magnesio contenidos en las aguas, son de importancia por su correlación con la dureza, la formación de incrustaciones y sus propiedades corrosivas.

La dureza está dada, cuando los iones de estos elementos se encuentran en razón superior a las 60 ppm.^[1]

Este tipo de aguas también puede producir sarro en tuberías, calderas e incluso en las vasijas, debido a los carbonatos sólidos de calcio y magnesio. A medida que el calcio y magnesio disminuyen, los suelos presentan una mejor adsorción de sodio.

2.1.2.7 CARBONATOS Y BICARBONATOS.

El ion bicarbonato es un constituyente normal en las aguas. Los carbonatos se presentan a menudo cuando hay sodio.

Tanto los carbonatos como los bicarbonatos son importantes debido a que presenta una tendencia de combinarse con los cationes de calcio y magnesio, y precipitarlos.

2.1.2.8 CLORUROS.

El ion cloruro es uno de los principales aniones de las aguas y de las aguas negras. En concentraciones excesivas, el cloruro puede impartir al agua un sabor salino. Comúnmente se encuentra como cloruro de sodio y en aguas negras su presencia es mayor debido a que pasa por el aparato digestivo sin modificación alguna.

2.1.2.9 SULFATOS.

Los sulfatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y son relativamente abundantes en las aguas residuales y sobre todo en las aguas duras.

En algunos casos producen un olor característico en el agua residual, debido a su paso de sulfatos a sulfitos, y además por las bacterias sulfurosas.

2.1.2.10 ALUMINIO.

El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales y arcillas. Esta amplia distribución explica la presencia del aluminio en prácticamente todas las aguas naturales, bajo la forma de sales solubles, coloidales o insolubles. Además, como un residuo de la coagulación con el alumbre.

2.1.2.11 METALES PESADOS.

Muchos de los metales son importantes en la nutrición de plantas y animales, en donde juegan un papel fundamental como micronutrientes, en el metabolismo de los tejidos y en el crecimiento. El problema radica en su acumulación progresiva en el ambiente y sus efectos a largo plazo.[2]

Metal pesado se define como cualquier elemento que tiene un número atómico mayor a 22, aunque no todos son tóxicos .

Se considera como metales pesados a los siguientes elementos: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobalto (Co), Mercurio (Hg), Selenio (Se) y Arsénico (As). [3]

2.1.2.12 OXÍGENO DISUELTO.

En aguas residuales es necesario determinar el oxígeno disuelto, esta medición es de vital importancia para conocer las condiciones aerobias y anaerobias de la muestra.

Los procesos para tratamiento aeróbico dependen de la presencia de oxígeno disuelto. El control de la cantidad de éste (dado por la aereación), es indispensable en estos tratamientos, ya que se debe asegurar una cantidad mínima para mantener las condiciones aeróbicas, y al mismo tiempo, evitar un exceso del mismo.

Se puede asociar la cantidad del oxígeno disuelto con la corrosividad del agua, con la actividad fotosintética y con la septicidad.

2.1.2.13 DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno)

La DBO es usualmente definida como la cantidad de oxígeno requerido por bacterias en el momento en que se estabiliza la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas. El término descompuesto puede ser interpretado como medida de la materia orgánica que puede servir como alimento para la bacteria y liberar energía en esta condición.

Entre mayor sea la carga de materia orgánica desechada a un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo tanto, habrá una baja en el oxígeno disuelto creando condiciones que van en detrimento de la vida acuática y otros usos benéficos.

Un valor elevado de la DBO, también puede indicar un incremento en la microflora presente e interferir en el equilibrio de la vida acuática, una cantidad excesiva de algas, además de producir olores y sabores desagradables, tapan los filtros de arena utilizados en las plantas de tratamiento.

La DBO se debe a tres clases de materiales:

- a) Materiales orgánicos carbonosos.
- b) Materiales nitrogenados oxidables (Derivados de nítrito, amoníaco y nítrógeno orgánico).
- c) Materiales químicos reductores (Hierro ferroso, sulfito y sulfuro).

La DQO es una determinación que representa una medida de el oxígeno equivalente en la fracción de la materia orgánica que es susceptible de oxidación por un agente químico fuerte.

Indica la cantidad de compuestos oxidables que se tienen y los resultados que se obtengan pueden variar con la composición del agua, con la concentración del reactivo, con la temperatura, con el período de contacto y otros factores.

2.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.

Los aspectos biológicos con los que se debe familiarizar incluyen un conocimiento de los grupos principales de microorganismos que se encuentran en aguas superficiales y residuales, así como aquellos que intervienen en el tratamiento biológico, el de los organismos utilizados como indicadores de solución así como su importancia, y finalmente, de los métodos utilizados para valorar la toxicidad de las aguas residuales tratadas.

Los análisis de las aguas residuales para el estudio de la vida biológica, comprende exámenes bacteriológicos y microscópicos; se hacen estudios microscópicos para el estudio de las algas, hongos y animales inferiores, con el objeto de facilitar la determinación del progreso en la contaminación.

2.1.3.1 MICROORGANISMOS.

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales se clasifican en protistas, plantas y animales.

La categoría de los protistas incluyen las bacterias, hongos protozoos y algas.

Como plantas se clasifican las de semilla, helechos, musgo y hepáticas.

Como animales se clasifican los vertebrados e invertebrados. Los virus que también se encuentran en el agua residual, se clasifican según el sujeto infectado.

2.1.3.2 DESCOMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La descomposición de las aguas residuales tienen lugar como consecuencia de un metabolismo bacteriano. Puede dividirse en dos fases, la anaerobia y la aerobia.

Cuando las aguas residuales son recientes, pueden contener algo de oxígeno, este oxígeno se agota rápidamente, de tal modo que el primer paso importante en la descomposición de las aguas residuales tiene lugar en condiciones anaerobias. Puede ir acompañado de los olores desagradables procedentes de compuestos, especialmente ácido sulfhídrico y algunos compuestos orgánicos.

Las bacterias aerobias utilizan oxígeno, este oxígeno puede suministrarse naturalmente, a partir de la atmósfera, o mecánicamente, por medio de aereación con burbujas finas, a través de películas delgadas o formación de pequeñas gotas.

Además de las bacterias aerobias o anaerobias, existe un tercer grupo, denominado facultativo, el cual puede realizar sus procesos bajo ambas condiciones, aerobias o anaerobias.

2.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

2.2.1 TRATAMIENTO PRELIMINAR.

En diversas ocasiones, se pueden presentar desechos de gran tamaño, por lo cuál como medio de remoción se utilizan los siguientes medios, ya sea individuales o combinados:

- Desarenadores.
- Desmenzadores.
- Tanques de pro-aereación.
- Trampas de grasas y compuestos orgánicos.

2.2.2 *TRATAMIENTO PRIMARIO.*

En este tipo de tratamiento se aprovechan las propiedades de los contaminantes, ya que se emplean medios físicos y mecánicos, de tal manera que se elimina la mayor parte de material flotante y sedimentable. Si no se presenta una sedimentación instantánea, podemos precipitar por medio de la adición de alguna sustancia. Los dispositivos utilizados para este fin, deben manejar bajas velocidades para favorecer el sedimentado. Los medios utilizados son:

- Cribado.
- Igualación.
- Neutralización.
- Flotación.
- Sedimentación.
- Filtración.

2.2.3 *TRATAMIENTO SECUNDARIO.*

Este tratamiento se realiza cuando se presenta una gran cantidad de materia orgánica que no pudo ser eliminada por el tratamiento primario y preliminar. Se utilizan bacterias aeróbicas o anaeróbicas que ayudan a la descomposición de dicha materia orgánica inestable, en material inorgánico y orgánico más estable. Los medios utilizados son:

- Tratamiento por filtros.
- Tratamiento por biodiscos.
- Tratamiento por lodos activados.

2.2.4 *TRATAMIENTO Terciario.*

Algunos componentes de las aguas residuales pasan por los tratamientos anteriores sin que se vean removidos debido a la complicidad que presenta su eliminación. Debe tenerse cuidado que no presente toxicidad en la salida de este tratamiento, ya que de ser así se vería dañado el

cuerpo receptor. Entre los principales tratamientos terciarios se tienen los siguientes:

- Floculación
- Ozonización.
- Adsorción con carbón activado.
- Suavización.
- Intercambio iónico.
- Osmosis inversa.
- Electrodialisis.
- Destilación.
- Congelación.
- Cloración.

El principal problema que se presenta después de un tratamiento, sea del tipo que sea, es el tratamiento de lodos y la disposición de los mismos.

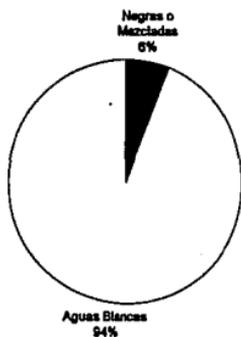
Cualquiera de los métodos a seleccionarse en el tratamiento de las aguas residuales, debe presentar facilidad en la instalación y operación, así como una inversión razonable, para ser aceptado por los sectores agrícola e industrial, para que ellos mismos sean quienes promuevan el uso, seguido de la aceptación social de esta práctica, y sobre todo la confianza del tratamiento de las aguas residuales para uso en riego agrícola.

2.3 CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL GENERADA EN EL PAÍS.

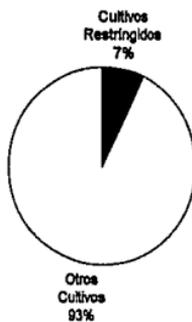
Para la mayoría de los sectores de México: social, industrial y agrícola, existe el problema de falta de agua, debido a la creciente demanda de los mismos. Las principales causas de este desabasto son: la cantidad disponible, zona geográfica en que se encuentra el demandante del servicio, cantidad y calidad del agua residual generada, falta de infraestructura de tratamiento y el mal manejo del recurso, entre otros factores.

En la actualidad, nuestro país enfrenta grandes retos, primero, satisfacer la demanda de agua por la población y la industria, y segundo, tratar la cantidad del agua residual generada, a fin de disponer o utilizar este recurso para actividades de recreo industriales y agrícolas, cuidando la salud de la población y el medio ambiente, lo cual representa un gran reto a corto, mediano y largo plazo.

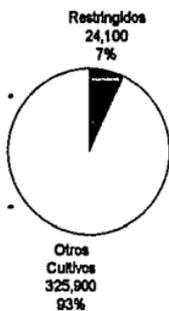
RIEGO TOTAL



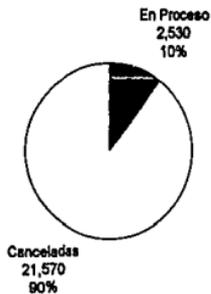
RIEGO CON AGUAS NEGRAS O MEZCLADAS



RIEGO CON AGUAS RESIDUALES: 380,000 HA



CULTIVOS RESTRINGIDOS: 24,100 HA



La cantidad de agua residual generada en el país, se encuentra dividida en: descarga municipal (160 m³/s) y caudal industrial (82 m³/s). De las aguas municipales se tratan tan sólo 30 m³/s en un total de arriba de 600 plantas de tratamiento, de la descarga industrial sólo se trata el 15%, y a nivel nacional, sólo el 10% de las aguas residuales recibe un tratamiento adecuado. [4][5]

El riego total en el país, se ve solo ayudado por riego con agua residual, en un 8%, llevándose a cabo en 350,000 Ha., correspondiendo 24,100 Ha en hortalizas permitidas, y 325,900 Ha en otros cultivos.

[4]

SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO.	
Población servida con agua potable	70 %
Población servida con alcantarillado	49 %
CLORACIÓN DE AGUA POTABLE	
Caudal total a localidades > 10,000 hab.	120 m ³ /s
Caudal clorado	68 m ³ /s
en localidades	57 m ³ /s
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Caudal municipal generado	120 m ³ /s
Número de plantas instaladas	361
Capacidad instalada	30 m ³ /s
Porcentaje de eficiencia en plantas	33 %
Caudal Nacional tratado	10 %
Caudal industrial generado	82 m ³ /s
Caudal de tratamiento	15 %
RIEGO CON AGUAS RESIDUALES	
Superficie bajo riego	314,000 Ha
Superficie de hortalizas y otros productos que se consumen crudos bajo riego	20,591 Ha

Actualmente existen 364 plantas de tratamiento para aprovechar las descargas de procesos industriales simples que no representen ningún daño en un uso posterior. De éstas, 177 corresponden a la industria y 187 a los municipios. En lo que respecta a su operación, se estima que el 70% de la infraestructura no opera, el 20% opera deficientemente, y el 10% no cumple con la calidad requerida.

La capacidad instalada en porcentaje y por tipo de tratamiento es la siguiente: Lagunas de oxidación: 45%, Lodos activados: 42%, Tanques Imhoff: 3%, Lagunas de estabilización: 2%, Filtros rociadores y otros: 6%, Lagunas aireadas: 1%.

[6] [22]

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO INDUSTRIAL				
Estado	PLANTAS INDUSTRIALES			
	Núm. Plantas	Cap. Inst.(LPS)*	DBO (Ton/año)	Trat. Sec.
Aguascalientes				
Baja California Norte				
Baja California Sur				
Campeche				
Coahuila	5	545	9446	4
Colima	2	103		
Chiapas	1	127	1111	1
Chihuahua	1	282	4977	1
Distrito Federal	13	593	5550	7
Durango				
Guanajuato	6	447	6882	5
Guerrero				
Hidalgo	2	600	10589	1
Jalisco	17	416	5371	11
México	29	2955	12515	7
Michoacán	2	80		
Morelia	1	200	2771	
Nayarit				
Nuevo León	12	1183	3501	5
TOTAL	91	7531	62713	42

* LPS : Litros por segundo.

[6] [22]

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL				
Estado	Núm. Plantas	Cap. Inst.(LPS)	DBO (Ton/año)	Trat. Sec.
Aguascalientes	4	9		4
Baja California Norte	5	619	3556	5
Baja California Sur	5	113	653	5
Campeche				
Coahuila	8	1173	2133	8
Colima	11	2247	1675	11
Chiapas				
Chihuahua	3	589	2548	3
Distrito Federal	16	4414	32020	15
Durango	5	750	2210	5
Guanajuato	3	1433	2128	3
Guerrero	12	343	2997	12
Hidalgo	2	5	31	2
Jalisco	18	731	4500	18
México	15	1094	16638	15
Michoacán	8	795	5505	8
Morelia	6	43	267	6
Nayarit	3	30	46	3
Nuevo León	6	361	1432	6
TOTAL	130	14,749	78,839	129

A nivel nacional, entre los cultivos irrigados con aguas residuales, destacan productos como: maíz, frijol, trigo, sorgo, algodón, alfalfa, etc., y los contaminantes más frecuentes son: coliformes, tóxicos, nutrientes, grasas y aceites.

EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO AGRÍCOLA			
EDO.	VOL. ANUAL mill m ³ /año	SUPERF. Ha.	TRATAMIENTO
Aguascalientes	52.23	4747	No
Baja California Sur	6.90	627	Tanques Imhoff
Chihuahua	68.96	6414	No
Coahuila	76.59	6958	No
Colima	10.86	987	Lagunas Estab.
Durango	23.79	2157	Aero y anaerobio
Guerrero	1.72	156	No
Guanajuato	52.23	4747	No
Michoacán	2.88	262	No
Nuevo León	158.80	14440	No
Sonora	80.61	5224	No
Tampico	17.97	1633	No
Zacatecas	10.93	568	No

Los tratamientos a las descargas se muestran generalmente nulos, y cuando algún tipo de tratamiento se llega a dar, se prefieren lagunas de estabilización y lodos activados.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA DE ACABADOS METÁLICOS.

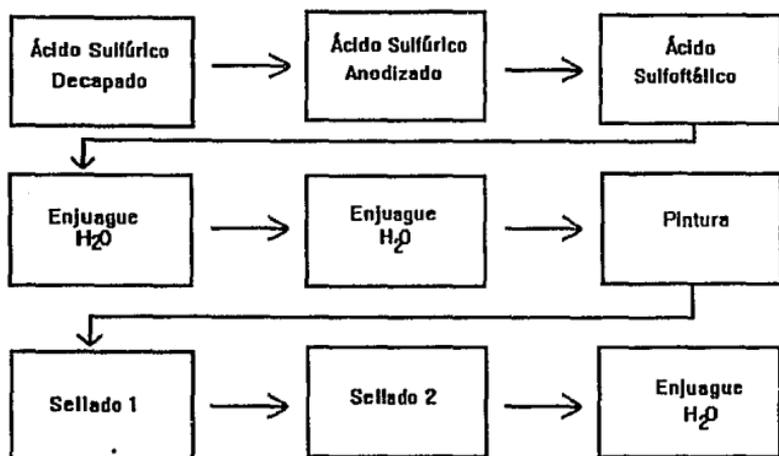
La Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-017-ECOL/1993 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de acabados metálicos.

[20]

PARAMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	1	1.2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	60
Grasas y aceites (mg/L)	20	30
Cromo hexavalente (mg/L)	0.1	0.2
Cromo total (mg/L)	1.0	1.2
Cobre (mg/L)	0.5	1.0
Níquel (mg/L)	2.0	2.5
Fierro (mg/L)	1.0	1.2
Zinc (mg/L)	1.0	1.2
Cianuros (mg/L)	0.3	0.5
Cadmio (mg/L)	0.1	0.2
Plomo (mg/L)	0.6	0.7
Aluminio (mg/L)	2.0	2.5
Bario (mg/L)	2.0	2.5
Manganeso (mg/L)	2.0	2.5
Plata (mg/L)	0.2	0.4

En este estudio se trabajó con agua residual proveniente de una industria de anodizados de piezas de aluminio, para lo cual, el contenido de aluminio de estas aguas residuales es muy elevado, por eso se fijó como problema principal. El agua en estudio es el agua proveniente de la mezcla de enjuagues, sin ningún tratamiento preliminar de purificación.

A continuación se presenta un esquema general del proceso empleado para las piezas de aluminio.



Algunos de los tanques contienen otras sustancias, tales como:

Sellado 1: Níquel, Borax, Sodio.

Sellado 2: Acetato de Níquel, Fluoruro de Sodio.

Pintura: Sulfato de Hierro, Peróxido de Hidrógeno, Ácido Oxálico, Hidróxido de Sodio.

2.5 CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

La calidad del agua residual se expresa en función de sus niveles de contaminación, producto de un acelerado crecimiento de la población y la industria, así como los daños probables a la salud pública y al medio ambiente. Se consideran los microorganismos y sustancias tóxicas, entre los que se pueden encontrar detergentes, grasas y aceites, y metales pesados, la menor o mayor cantidad de ellos depende de si las aguas descargadas son de origen doméstico o industrial.

La contaminación es, la presencia de cualquier sustancia o una combinación de ellas, que perjudique en cualquier grado la salud y la vida terrestre.

La Secretaría de Salud ha reportado que dentro del total de muertes anuales, el tercer lugar lo ocupan aquellas por infección intestinal, después de accidentes, enfermedades cardíacas y tumores malignos. De los padecimientos intestinales, el 68% corresponde a infecciones intestinales, el 28% a amibiasis, 2% a intoxicaciones alimenticias bacterianas, 1.4% a giardosis y shigelosis al 0.6%.

Actualmente, se ha impulsado un plan para resguardar la salud de la comunidad, mediante la creación del programa "Agua Limpia", que atiende por decreto presidencial, los siguientes aspectos:

- a) Servicio de agua potable y alcantarillado.
- b) Cloración del agua potable.
- c) Tratamiento de aguas residuales.
- d) Riego con aguas residuales.

Los puntos principales a seguir con la propuesta de una estrategia son:

1. Participación activa de los diversos grupos ecologistas así como de la sociedad.
2. Establecer mediante estudios realistas, la calidad del agua potable y de las aguas residuales, fijando los límites máximos y mínimos permisibles de nutrientes y contaminantes presentes.
3. Fijar cuotas para evitar el uso irracional de cauces y cuerpos de agua.
4. Implantar el uso de tratamiento avanzado para los problemas que así lo requieran.
5. Se propone tratar la mitad del agua residual producida en el país, mediante lagunas de oxidación, los suelos serán utilizados en agricultura; la otra mitad será tratada mediante tratamiento biológico, para poder ser incorporada a mares y ríos.
6. Capacitar al personal, y fortalecer así los programas de investigación y/o adaptación de la tecnología existente.

2.5.1 ASPECTO JURÍDICO.

Con el fin de mantener las condiciones de la calidad del agua y el uso al que está destinada, se debe consultar las disposiciones que existen, y apegarse de manera completa a la legislación.

Se ha recurrido a los diferentes documentos, tales como:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su artículo 27, párrafo quinto y sexto, en los que se hace conocimiento sobre la propiedad de las aguas nacionales y el uso particular que como país se le puede dar tanto a las aguas naturales, como a las residuales y sus productos.

- Ley Federal de Aguas en sus siguientes partes:

- Artículo 86. Fracción V. Vigilar que la calidad de las aguas residuales cumpla con las normas emitidas para tal efecto.
- Artículo 86. Fracción VI. Promover y realizar medidas necesarias para evitar que las aguas residuales contaminen cuerpos receptores.
- Artículo 88. Párrafo 3. Controlar las descargas de aguas residuales en el drenaje y alcantarillado.
- Artículo 119. Fracción II: Sancionar la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas residuales nacionales sin cumplir con las N.O.M. emitidas para tal efecto.
- Artículo 119. Fracción XII. Sancionar la utilización de aguas limpias para diluir las descargas, y así cumplir con las condiciones establecidas.
- Artículo 120. Sanciones y multas para quienes falten en el artículo 119, en sus partes que así correspondan.

- Artículo 122. Sanciona la reincidencia a las faltas anteriores.
- Artículos Transitorios. Artículo 10. Si no se han aprobado como N.O.M. sigue teniendo vigencia la N.T.E. correspondiente.

2.5.2 *NORMATIVIDAD.*

Para normar sobre la calidad y el uso de las aguas residuales, se han definido varios criterios, como son: color, olor, grasas y aceites, compuestos tóxicos, DQO y DBO, microorganismos, tipo de agua, etc.

En las Normas Técnicas Ecológicas o Norma Oficial Mexicana, según se refiera; se encuentran los criterios establecidos para la concentración de elementos presentes en las aguas, no importando la procedencia de éstas sino su destino, en este caso: la Agricultura.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE AGUAS RESIDUALES
PARA RIEGO AGRÍCOLA

Acroleína	0.1 ppm
Aldrín	0.02 ppm
Aluminio	5.0 ppm
Antimonio	0.1 ppm
Arsénico	0.1 ppm
Bicarbonatos	100.0 ppm
Berilio	0.5 ppm
Boño	3.0 ppm
Cadmio	0.01 ppm
Carbonato de sodio residual (me/lt)	2.5 me/lt
Cianuro	0.02 ppm
Clordano	0.003ppm
Cobre	0.2 ppm
Cloruros	147.5 ppm
Conductividad eléctrica	1000.0 mmhos/cm
Cromo hexavalente	1.0 ppm
DDE	0.04 ppm
Dieldrín	0.02 ppm
Fierro	5.0 ppm
Fluoruros	1.0 ppm
Fósforo total	5.0 ppm
Heptacloro	0.02 ppm
Niquel	0.2 ppm
Nitratos	30.0 ppm
Nitrógeno total	30.0 ppm
Plomo	5.0 ppm
Potasio	250.0 ppm
pH	4.5 - 9.0
Relación de Adsorción de sodio	18.0 me/lt
Salinidad efectiva	15.0 me/lt
Salinidad potencial	15.0 me/lt
Selenio (Selenato)	0.02 ppm
Sodio	250.0 ppm
Sólidos disueltos	500.0 ppm
Sólidos suspendidos	50.0 ppm
Sulfatos	130.0 ppm
Texafeno	0.005ppm
Zinc	2.0 ppm
Radioactividad: Alfa total	0.1 Bq/lt
Radioactividad: Beta total	1.0 Bq/lt

[20]

LÍMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES PARA AGUAS
RESIDUALES DE ORIGEN URBANO O MUNICIPAL PARA
RIEGO AGRÍCOLA

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH (Unidades de pH)	6.5 - 8.5
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	2000
DBO (mg/l)	120
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	120
Aluminio (mg/l)	5.0
Arsénico (mg/l)	0.1
Boro (mg/l)	1.5
Cadmio (mg/l)	0.01
Cianuros (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.2
Cromo total (mg/l)	0.1
Fierro (mg/l)	5.0
Fluoruros (mg/l)	3.0
Manganeso (mg/l)	0.2
Níquel (mg/l)	0.2
Plomo (mg/l)	5.0
Selenio (mg/l)	0.02
Zinc (mg/l)	2.0

Los parámetros de control son los siguientes:

- a) Que su contenido de coliformes fecales no sea mayor de 1000 NMP/100 ml y que no exista un huevo viable de helminto.

b) Las concentraciones máximas permisibles para parámetros agronómicos son:

Salinidad, sólidos suspendidos:	menor a 2000 ppm
Boro:	menor a 2.5 ppm
Conductividad Eléctrica:	menor a 3000 mmhos/cm
Cloruros:	menor a 250 ppm
Refacción de Adsorción de Sodio:	menor a 18 me/t

c) Para el caso de sustancias tóxicas, los máximos permisibles que se detectan a descargas industriales son:

Plomo:	5.000 ppm
Cadmio:	0.050 ppm
Cromo hexavalente:	5.000 ppm
Arsénico:	5.000 ppm
Aluminio:	5.000 ppm
Mercurio:	0.005 ppm
Cianuro:	0.100 ppm

d) Se recomienda la utilización de estas aguas en suelos alcalinos, ya que en medio ácido se presenta la solubilización de metales pesados, y así la adsorción por medio de la planta.

e) Mantener lo máximo posible el DBO y facilitar la reestabilización de los suelos, mediante presencia de nutrientes tales como: Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

2.6 *CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.*

De acuerdo a la textura del suelo, es decir, a la composición de grupos de partículas de diferentes tamaños, se identifican los siguientes tipos: arcillosos, arenosos y limosos, con las siguientes variantes:

<i>Tipo</i>	<i>% arcilla</i>	<i>% arena</i>	<i>% limo</i>
Arcilloso	60	20	20
Franco-Arcilloso	40	30	30
Franco	20	40	40
Franco-Arenoso	15	65	20
Arenoso	5	90	5
Franco-Limoso	15	20	65
Limoso	10	5	85

Los mejores suelos para cultivo son los francos y franco-limosos, ya que poseen una buena penetración y retienen al agua y los nutrientes, así como su fertilidad natural va de media a alta. Los suelos arenosos no captan agua, más bien tienden a secarse, no retienen nutrientes y tienen una alta porosidad. Los suelos franco-arcillosos y arcillosos, retienen demasiada agua, tal que la planta no cuenta con ésta y otros nutrientes esenciales para un buen desarrollo.

El color del suelo es resultado de la cantidad de materia orgánica y de algunos iones específicos presentes, no siempre es un indicador de fertilidad, pero si del drenaje, así un excelente drenaje corresponde al color rojo, pasando por el café, amarillo, así hasta llegar al gris, que tiene un mal drenaje.

Los principales factores que determinan la acidez del suelo son la lluvia, la irrigación, el tiempo de explotación y la fertilización. Los suelos pueden ser ácidos, neutros o alcalinos.

También intervienen en la productividad del suelo el tipo de riego, entre los principales tipos de riego se encuentran:

- **Inundación:** Se lleva a cabo en terrenos planos y en cultivos que así lo requieran, tales como arroz, pastos y ciertas hortalizas.
- **Surcos y Corrugaciones:** Se presenta en hileras que permiten el cultivo de caña de azúcar, maíz, algodón, etc.
- **Aspersión:** Consiste en producir una lluvia por presión hidráulica y de esta manera el regado se lleva a cabo de una manera uniforme.

NORMA PARA USO DE AGUAS RESIDUALES EN RIEGO AGRÍCOLA			
TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERV. MIN ENTRE ÚLT. RIEGO Y CO-SECHA(días)	CULTIVOS NO PERMITIDOS
Inundación	1	20	Los señalados en el punto 3.1 excepto ajo, pepino, ejotero, frijol, pepinillo, jicama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en el punto 3.1 excepto melón y sandía.
	3	20	Los señalados en el punto 3.1
	4	20	Los señalados en el punto 3.2
Surco	1	15	Los señalados en el punto 3.1 excepto ajo, frijol, ejotero, pepino, pepinillo, jicama, melón, sandía y tomate verde.
		20	Libre cultivo.
	2	20	Los señalados en el punto 3.1 excepto ajo, pepino, jicama, melón, sandía y tomate verde.
	3	20	Los señalados en el punto 3.1 excepto melón y sandía.
	4	20	Los señalados en el punto 3.2
Aspersión	1	20	Los señalados en el punto 3.1 excepto ajo, pepino, pepinillo, jicama, melón y sandía.
	2	20	Los señalados en el punto 3.2
	3	20	Los señalados en el punto 3.2
	4	20	Los señalados en el punto 3.2

Punto 3.1.**Hortalizas.**

La acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, frijol, ejotero, hierbabuena, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano,

zanahoria, pepinillo, pickle, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde de cáscara, con excepción de las cinco últimas semanas cuando se siembren con espaldera. Se equiparán a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.

Punto 3.2.

Productos. Hortofrutícolas.

Las señaladas en el inciso anterior y todas las demás hortalizas y frutos en general.

- Tipo 1.** La que contenga menos de 1000 coliformes totales por cada 100 ml. y ningún huevo de helminto viable por litro de agua.
- Tipo 2.** La que contiene de 1 a 1000 coliformes fecales por cada 100 ml. y cuando más un huevo viable de helminto por litro de agua.
- Tipo 3.** La que contiene de 1001 a 100000 coliformes fecales por cada 100 ml.
- Tipo 4.** La que contiene más de 100000 coliformes fecales por cada 100 ml.

2.7 *CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS.*

Los cultivos pueden agruparse en tres amplias categorías según el grado en que se exigen medidas de protección a la salud:

Categoría A: Protección necesaria solamente para los trabajadores del campo.

1. Cultivos no aptos para consumo humano (algodón, henequén)
2. Cultivos que suelen tratarse por calor o desecación antes del consumo humano.
3. Verduras y frutas cultivadas exclusivamente para enlatados u otros tratamientos que destruyen los diferentes patógenos.
4. Forraje secado al sol y recolectados antes de ser consumidos por animales.

5. Riego de campos en zonas cercadas sin acceso al público (viveros, bosques, zonas verdes).

Categoría B: Se requieren medidas de seguridad adicionales a la protección para trabajadores del campo.

1. Cultivos de pastos y forrajes verdes.
2. Cultivos para consumo humano que no entren en contacto con las aguas residuales, siempre que no se almacenen del suelo ni se rieguen por aspersión (árboles frutales, viñas, etc.).
3. Cultivos para consumo humano que normalmente se ingieren después de ser cocinados (papas, betabel).
4. Cultivos para consumo humano, cuya cáscara no se come (melones, cítricos, plátanos, nueces, cacahuates).
5. Cualquier cultivo que se riegue por aspersión.

Categoría C: El tratamiento destinado a cumplir las directrices de Engelberg para uso ilimitado es fundamental en:

1. Todo producto que suele ingerirse crudo y se cultive en estrecho contacto con efluentes de aguas residuales (hortalizas frescas tales como lechugas, zanahorias, o frutas por aspersión).
2. Riego de campos con acceso al público.

De acuerdo con las directrices de Engelberg sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales sin tratar destinadas al riego de cultivos, se recomienda que las aguas sean tratadas de tal forma que contengan:

- Menos de un huevo viable de nemátodos intestinales por litro (sobre una base de media aritmética) para el riego limitado o ilimitado.

- Menos de 1000 bacterias coliformes fecales por 100 ml (sobre una base de media geométrica) para el riego ilimitado.

Por riego ilimitado se entiende el riego de árboles, forrajes y cultivos industriales, los árboles frutales y los pastos, por riego limitado, el de plantas comestibles, los campos deportivos y parques públicos; y por riego restringido aquel destinado para ciertos cultivos bajo ciertas condiciones.

[22]

CONTAMINANTES Y CULTIVOS PRINCIPALES POR ESTADO		
ESTADO	CULTIVOS PALES.	PALES.CONTAMINANTES
Aguascalientes	trigo, maíz y vid	coliformes y nutrientes
Baja California Sur	trigo, algodón y alfalfa	coliformes
Chihuahua	algodón, trigo, manzana	coliformes y sólidos suspendidos
Coahuila	algodón, alfalfa, trigo	coliformes
Colima	maíz, frijol y sorgo	coliformes
Durango	trigo, sorgo y alfalfa	coliformes y nutrientes
Guanajuato	trigo, maíz y sorgo	coliformes y nutrientes
Guerrero	copra, frijol y maíz	coliformes
Michoacán	maíz, frijol y cítricos	coliformes
Nuevo León	maíz, trigo y cítricos	diversidad
Sonora	cítricos, sorgo y trigo	grasas, aceites y tóxicos
Tampico	trigo, maíz y sorgo	DBO, grasas y aceites
Zacatecas	maíz, alfalfa y sorgo	coliformes

III. ALUMINIO.

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

El aluminio es el metal más abundante y el tercero entre todos los elementos con cerca del 8% de la composición terrestre. Se encuentra combinado con oxígeno y silicio en el feldespato, mica y caolín (arcilla) y en varias formas de su único óxido, como corindón o esmeril. El aluminio forma parte de muchas piedras preciosas. El zafiro es la misma sustancia coloreada con aluminatos de titanio y hierro, la esmeralda oriental es un silicato complejo de aluminio coloreado en verde por el cromo, el aguamarina es un silicato de aluminio y berilio, parecido a la esmeralda, el lapizazulí es esencialmente un silicato de aluminio y sodio que contiene polisulfuro sódico, el granate es fundamentalmente un ortosilicato de calcio y aluminio que contiene hierro, manganeso y cromo, la turquesa es un fosfato hidratado con hierro y cobre. La más importante de las menas de las que se extrae el aluminio es el óxido hidratado (bauxita) que se encuentra en Francia, Arkansas, Georgia, Tennessee, Alabama y Guayana Británica. El fluoruro complejo criolita, se halla en Groenlandia. Las bauxitas son rocas constituidas por mezclas de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, minerales de la arcilla, entre los que predomina el caolín, y fragmentos clásticos, principalmente cuarzo. Actualmente son la principal fuente de aluminio, que se obtiene mediante la disolución de los minerales con sosa cáustica (Proceso Bayer).

El metal se obtiene industrialmente por el método de Hall, la cuba es de hierro revestida de carbón. Acercando los ánodos de carbón a las paredes inferiores de la cuba, que actúan como cátodo, se funde primeramente la criolita, a consecuencia de la elevada temperatura producida por los arcos que saltan entre las barras de carbón en el cátodo. Se elevan entonces los ánodos y se añade alúmina purificada, comenzando la electrólisis. Los iones aluminio emigran al cátodo, y ganan electrones, formando aluminio metálico.

3.2 PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ALUMINIO.

El aluminio es un metal de color blanco argentino, que funde a 658.7°C y hierve a 1800°C. Aparte del magnesio, es el más ligero de los metales corrientes, su densidad es de 2.7. Es dúctil y maleable, y entre 100 y 150°C puede ser laminado y forjado como convenga, pero al acercarse a su punto de fusión se vuelve quebradizo. Comparando alambres de igual sección, la conductividad eléctrica del aluminio viene a ser 2/3 la del cobre. Sin embargo, como el aluminio es mucho más ligero que el cobre, de dos alambres de igual longitud y peso, el mejor conductor es el de aluminio. Se usa para cables de transmisión de electricidad.

El agua apenas ataca el aluminio, el aire húmedo lo empaña ligeramente, pero la acción se paraliza por formarse en la superficie del metal una película de óxido fuertemente adherida. Desplaza el hidrógeno de los ácidos y de los álcalis. La posición del aluminio en la serie de actividad de los metales induce a pensar que debería desplazar el hidrógeno del agua caliente y no serviría para utensilios de cocina, pero debe tenerse en cuenta que este metal solo reacciona cuando está limpia su superficie, esto es, cuando únicamente contiene átomos de aluminio, y que, además no puede continuar la reacción si dicha superficie no queda completamente libre de materias insolubles que impedirían el contacto entre la solución y el metal. Si el aluminio se ataca con HCl, el producto cloruro de aluminio es soluble y deja la nueva superficie libre de cualquier depósito, pero empleando agua la superficie de aluminio queda recubierta de una capa muy delgada de hidróxido y óxido de aluminio y el agua ya no puede seguir actuando sobre el metal. Cuando se emplea el hidróxido sódico, el hidróxido de aluminio no permanece en la superficie, sino que se disuelve combinándose con el hidróxido sódico para formar meta-aluminato sódico soluble.

El metal puro no se trabaja bien al torno, por adherirse al filo de las herramientas. Aleado con un 2% de magnesio conserva su ligereza y puede elaborarse con facilidad. El bronce de aluminio, aleación de cobre con 8 a 12% de aluminio, es muy fusible, tiene brillo dorado, mucha resistencia y dureza, resiste la corrosión mejor que cualquier otro bronce, y puede moldearse con facilidad.

El metal y sus aleaciones se utilizan en la construcción de automóviles, carros de ferrocarril, cámaras fotográficas, utensilios de cocina y otros objetos que requieren metales ligeros y resistentes. El aluminio es de suma importancia en la industria de la aviación. Con frecuencia se usa en hojas delgadas substituyendo al papel de estaño para envolver alimentos, y en las modernas lámparas relámpago de fotografía. El metal en polvo, suspendido en aceite, sirve para platear radiadores. Como el aluminio refleja un 95% de las ondas caloríficas desde su superficie, se emplea como material aislante. Por ser uno de los mejores reflectores de rayos luminosos, tanto visible como ultravioleta, se aplica para revestir espejos en telescopios de reflexión, por ejemplo, el espejo de 5 metros del telescopio mayor del mundo instalado en Monte Palomar, California del Sur.

En el proceso Goldschmidt se aprovecha el intenso poder del aluminio para obtener metales. El hierro fundido así preparado se usa para reparaciones de maquinaria pesada, como carriles y cigüeñales. Mediante un cabo adecuado (cinta de magnesio) se prende una mezcla de polvo de aluminio y óxido de hierro, obteniéndose óxido de aluminio y hierro:

A la temperatura producida por la reacción, el hierro fundido se reúne en el fondo del crisol, y queda flotando encima el óxido del aluminio fundido. El metal fundido se vierte en un molde de arena que rodea los extremos previamente calentados del metal, llenando todos los huecos y soldando así los fragmentos.

La termita se emplea como fulminante en bombas incendiarias. Cuando estas tropiezan en el objetivo, la mezcla de aluminio y óxido de hierro se inflama y arde a unos 2500°C. Al estallar una bomba proyecta trozos de metal incandescente a distancias de 10 a 20 metros en todas direcciones.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO

Densidad a 20°C	2.70 g/cc
Punto de fusión	660°C
Punto de ebullición	2327°C
Conductividad térmica a 25°C	0.5 gcal/scm ² cm°C
Calor específico medio (0 - 100°)	0.225 cal/g°C
Coefficiente de expansión térmica lineal (20 - 100°C)	0.0000239/°C
Calor latente de fusión	93 cal/g
Estructura cristalina	Cúbica centrada en las caras.
Módulo de elasticidad	70,300 kg/cm ²
Módulo de rigidez	267,000 kg/cm ²
Radio de Poisson	0.33
Resistividad eléctrica a 20°C	0.00000263ohm/cm
Coefficiente de temperatura a resistividad eléctrica a 20°C	0.00429/°C
Susceptibilidad magnética a 18°C	+ 0.00000065/gram

3.3 TOXICOLOGÍA.[16]

El aluminio ha sido considerado como no tóxico y no absorbible por el tracto gastrointestinal. Estudios recientes han demostrado que la inhalación o ingestión del aluminio o sus compuestos son absorbidos ligeramente. Su absorción se desconoce. Su eliminación del cuerpo ocurre por la orina. Los pacientes con uremia (ácido úrico) pueden retener el aluminio en

el cuerpo. Las diálisis pueden contribuir a la acumulación del aluminio en el cuerpo si el agua con que se efectúan contiene cantidades elevadas de aluminio. En el cerebro, pueden ocurrir afecciones en el sistema nervioso central. Los síntomas que se presentan son: pérdida de memoria, demencia, afasia, ataxia, convulsiones y cambios de conducta.

La producción electrolítica del aluminio puede tener una exposición sustancial a fluoruros y aceites carcinogénicos, incluidos hidrocarburos poliaromáticos. La producción de sales de sulfatos y fluoruros de aluminio puede producir síntomas asmáticos.

3.3.1 EFECTOS EN EL AGUA, SUELO, AIRE Y CULTIVOS.

El aluminio al ser un elemento tan común, se presenta en los suelos como componente del 3 al 10%. La naturaleza de los componentes del aluminio presentan baja solubilidad en niveles de pH por arriba de 5.5.

Generalmente, la concentración de aluminio en lagos y ríos es muy baja. A niveles de pH cercanos a 5.5, el nivel de aluminio en lagos es, como regla, menor a 100 microgramos de aluminio por litro. A pH menores de 5.5, la solubilidad de la mayoría de los compuestos del aluminio aumenta rápidamente. En aguas superficiales y subterráneas con pH menores de 5.5, las concentraciones de aluminio son de 0.1 a 0.7 mg de aluminio por litro. En aguas ácidas, las concentraciones de aluminio alcanzan hasta 1 mg por litro. En agua de mar, el nivel de aluminio es probablemente de 1 microgramo de aluminio por litro.

En el aire, tiene niveles de 1 microgramo de aluminio por m³ en áreas no contaminadas, mientras que en áreas industrializadas se presentan niveles por arriba de 10 microgramos por m³.

En plantas, el aluminio es tóxico. En suelos ácidos reduce la productividad del mismo y el crecimiento de algunos árboles frutales.

3.3.2 EFECTOS EN EL SER HUMANO.

ABSORCIÓN PULMONAR.

La absorción debida al inhalar compuestos de aluminio no ha sido estudiada con detalle, una razón puede ser el factor de que ningún isótopo radioactivo del mismo es estable. Los trabajadores expuestos al aluminio debido a su producción, purificación o manipulación, presentan un alto contenido del mismo en la orina. Se ha constatado que, animales expuestos al Al_2O_3 y de igual manera humanos expuestos a partículas de aluminio, inhalan y retienen aluminio en los pulmones, y éste permanece durante largos periodos de tiempo.

ABSORCIÓN GASTROINTESTINAL.

Por mucho tiempo, se ha demostrado que no existe absorción en el tracto gastrointestinal, y que es más o menos inexistente. En estudios realizados en el metabolismo basándose en humanos consumidores de antiácidos conteniendo aluminio, sometidos a largas dosis, demuestran que la mayor parte de la dosis fué eliminada con las heces.

Se tiene la certeza de que la excreción urinaria de aluminio incrementa después de la exposición a largas dosis de dichos antiácidos. La absorción del aluminio puede darse en adición con el ácido cítrico de la dieta, dándose como un complejo de un quelato cítrico. El pH influye en la absorción.

DISTRIBUCIÓN.

La mayor cantidad de aluminio en sujetos normales fué encontrada en pulmones, huesos y músculos. La concentración en pulmones es de 5 - 100 mg de aluminio por kg, y en otros órganos, es menor a 10 mg de aluminio por kg. Influye la edad y el estado de salud de un órgano con respecto a otro. Por ejemplo, la concentración del aluminio en el cerebro aumenta conforme aumenta la edad. La concentración en los órganos de pacientes con uremia varía de 2 a 100 veces la concentración en individuos sanos. Aparte de pulmones, los órganos que pueden presentar concentraciones relativamente altas, son: huesos, bazo, hígado y músculos, y menos extendido en el corazón y cerebro.

EXCRECIÓN.

En perros en que se suministró aluminio por vía intravenosa, eliminaron cerca de la tercera parte de la dosis por medio del excremento aproximadamente después de 2 horas. La excreción biliar es mínima. Datos experimentales en conejos, indican que una pequeña porción del aluminio suministrado puede eliminarse por leche, en proporción menor al 2% después de 24 horas.

Podemos asumir que la eliminación en humanos se lleva a cabo por la orina y la defecación. Estudios en Alemania demostraron que se presentaban 17 microgramos por litro de orina en sujetos no expuestos a compuestos de aluminio, y 44 microgramos por litro en trabajadores expuestos a él.

Las evaluaciones de efectos mutagénicos en compuestos de aluminio han demostrado que éstos no existen, así como efectos cancerígenos.

3.4 *TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DEL ALUMINIO.*

El aluminio presenta un comportamiento anfótero, por lo que su eliminación por un tratamiento específico presenta diversos problemas. La literatura reporta que el aluminio por ser un catión bastante ácido, se hidroliza fácilmente y a cierta concentración de ion hidroxilo, precipita como sal básica. El aluminio comienza su hidrólisis, y alrededor de pH 4 se presenta la formación de $Al(OH)_3$, y a mayor concentración de ion hidroxilo se forma el anión $Al(OH)_4^-$ (aluminato).^[17]

El catión Al^{3+} precipita en forma de hidróxido al adicionar hidróxido de amonio a sus soluciones. Se presenta también la formación de las especies solubles $AlOH^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$ y $Al(OH)_4^-$. El primero, comienza su precipitación a pH cercano a 3 en soluciones diluidas; mientras que el último, es responsable de la redisolución del aluminio en la forma de aluminato.^[19]

Dado que el método de eliminación de aluminio que proponemos es la precipitación, es necesario seleccionar las condiciones de pH más adecuadas para tener un mínimo de solubilidad del hidróxido de aluminio. Apoyándose en las constantes de formación de cada especie^[18], se puede localizar el valor de pH óptimo para la precipitación del hidróxido de aluminio, así como el de su redisolución. De igual manera, es importante conocer la estabilidad de las especies solubles y

su distribución en función del pH.

$$\begin{aligned}\text{Tenemos:} \quad \log \beta_1 &= 8.6 \\ \log \beta_2 &= 18.02 \\ \log \beta_3 &= 26.3 \\ \log \beta_4 &= 32.4\end{aligned}$$

$$\text{donde para } \beta_1 = \beta_{\text{AlOH}^{2+}} = \frac{[\text{AlOH}^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]}$$

Para el aluminio, por ser un catión trivalente, se tienen 5 especies solubles. Vamos a estudiar la estabilidad y predominio de cada una de ellas.

La concentración total del aluminio en la solución está representada en la siguiente ecuación:

$$[\text{Al}^{3+}]_T = [\text{Al}^{3+}]_L + [\text{AlOH}^{2+}] + [\text{Al}(\text{OH})_2^+] + [\text{Al}(\text{OH})_3] + [\text{Al}(\text{OH})_4^-]$$

Podemos definir un valor de Φ para cada especie soluble como: la relación existente entre la concentración de una especie y la concentración total del aluminio. Por ejemplo, para el caso de la especie AlOH^{2+} , el desarrollo es el siguiente:

$$\Phi_{\text{AlOH}^{2+}} = \frac{[\text{AlOH}^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}] + [\text{AlOH}^{2+}] + [\text{Al}(\text{OH})_2^+] + [\text{Al}(\text{OH})_3] + [\text{Al}(\text{OH})_4^-]}$$

despejando la concentración de cada especie del valor de β correspondiente, tenemos:

$$[\text{AlOH}^{2+}] = \beta_1[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]$$

$$[\text{Al}(\text{OH})_2^+] = \beta_2[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^2$$

$$[\text{Al}(\text{OH})_3] = \beta_3[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^3$$

$$[\text{Al}(\text{OH})_4^-] = \beta_4[\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^4$$

sustituyendo en $[Al^{3+}]_T$:

$$[Al^{3+}]_T = [Al^{3+}] + \beta_1[Al^{3+}][OH^-] + \beta_2[Al^{3+}][OH^-]^2 + \beta_3[Al^{3+}][OH^-]^3 + \beta_4[Al^{3+}][OH^-]^4$$

$$[Al^{3+}]_T = [Al^{3+}](1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4)$$

sustituyendo en Φ :

$$\Phi_{AlOH^{2+}} = \frac{\beta_1[Al^{3+}][OH^-]}{[Al^{3+}](1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4)}$$

Eliminando factores iguales, tales como $[Al^{3+}]$:

$$\Phi_{AlOH^{2+}} = \frac{\beta_1[OH^-]}{1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4}$$

De manera análoga podemos calcular los valores de Φ para cada una de las especies solubles del aluminio.

$$\Phi_{Al^{3+}} = \frac{1}{1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4}$$

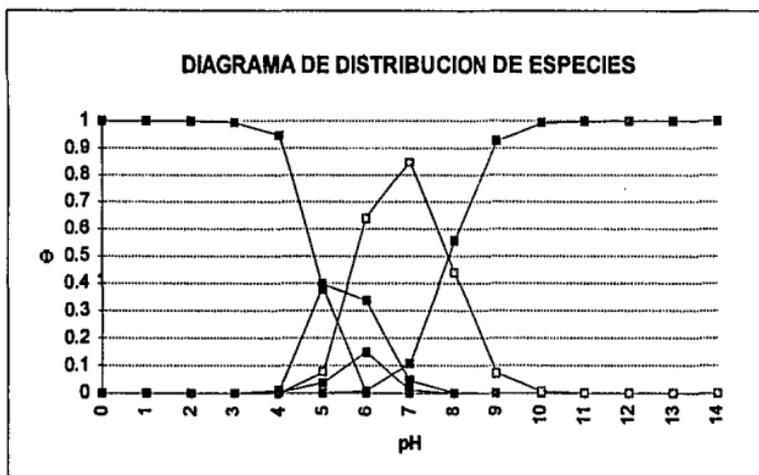
$$\Phi_{AlOH^{2+}} = \frac{\beta_1[OH^-]}{1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4}$$

$$\Phi_{Al(OH)_2^+} = \frac{\beta_2[OH^-]^2}{1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4}$$

$$\Phi_{Al(OH)_3} = \frac{\beta_3[OH^-]^3}{1 + \beta_1[OH^-] + \beta_2[OH^-]^2 + \beta_3[OH^-]^3 + \beta_4[OH^-]^4}$$

$$\Phi_{\text{Al(OH)}_4^-} = \frac{\beta_4[\text{OH}^-]^4}{1 + \beta_1[\text{OH}^-] + \beta_2[\text{OH}^-]^2 + \beta_3[\text{OH}^-]^3 + \beta_4[\text{OH}^-]^4}$$

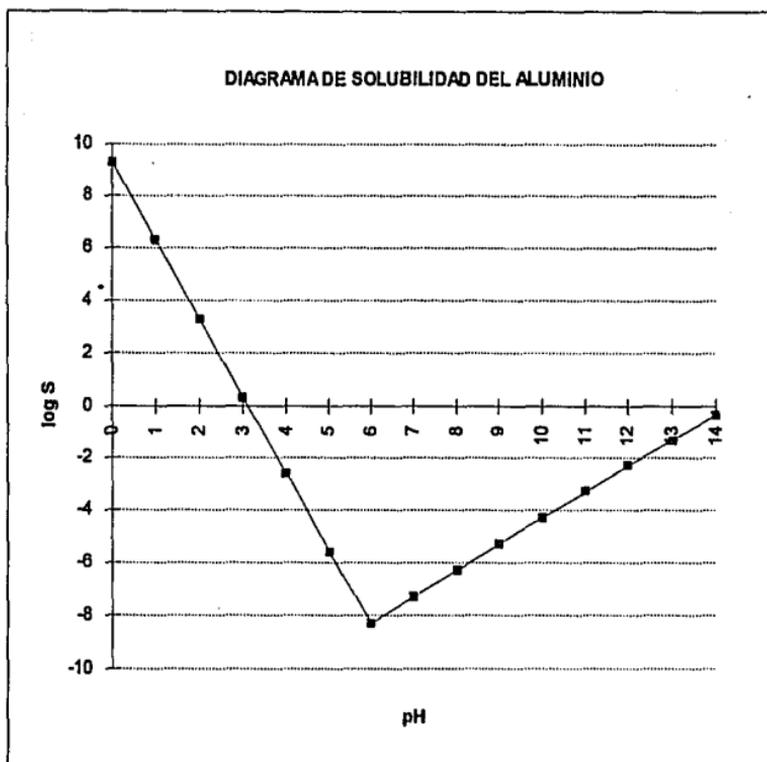
De esta manera obtenemos las gráficas de Φ para cada especie en función del pH.



También se conoce una forma insoluble del aluminio, el Al(OH)_3 , cuya solubilidad depende del pH de la solución y por tanto se debe estudiar para seleccionar las condiciones de la solución en las cuales ésta es más insoluble.

Para esto contamos con el valor del producto de solubilidad^[17] correspondiente, $K_s = 2.3 \times 10^{-33}$. Se puede calcular la solubilidad (s) del aluminio, la cual representaremos por $[\text{Al}^{3+}]$, en función del pH, es decir, la solubilidad aparente del aluminio.

Para trazar el diagrama en medio básico, es decir, donde se produce la redisolución del hidróxido de aluminio, por formación del ion aluminato, Al(OH)_4^- , necesitamos igualmente el valor del producto de solubilidad que en este caso ahora es de 0.50237, definiendo K como la relación entre el aluminato y la concentración de OH^- , llamamos S a la concentración del aluminato, y despejando, obtenemos la relación entre la solubilidad y el pH.



La precipitación del aluminio se puede llevar a cabo también utilizando carbonatos y sulfuros, sin embargo, dada la alcalinidad de estos reactivos, ambos presentan una hidrólisis, de tal manera que el precipitado formado finalmente es el hidróxido de aluminio. Si se quieren obtener los precipitados de carbonato de aluminio o sulfuro de aluminio, es necesario trabajar en vía seca.

De acuerdo con los contaminantes que se presentan en el efluente, se propone un tren de tratamiento tomando en cuenta las recomendaciones propuestas, tales como son: para los iones metálicos provenientes del depósito y anodizado es recomendable la precipitación y sedimentación, así como para la acidez se recomienda la neutralización.

Para poder llevar a cabo una neutralización es necesario conocer el pH de entrada, así como el pH óptimo en la neutralización y el reuso, los cuáles en este caso son: el pH de entrada

2.0, el pH óptimo en la neutralización 6.0 y el pH de reuso propuesto en la agricultura en un rango de 4.5 a 9.0. La precipitación comprende la obtención de una sal metálica insoluble, tal que permita la separación por medios mecánicos. Dicha precipitación se puede llevar a cabo con agentes químicos sencillos, o con agentes floculantes incluyendo compuestos orgánicos de alto peso molecular, siempre que el manejo de los lodos obtenidos no sea un problema. El asentamiento de los lodos es llevado a cabo en tanques de sedimentación, teniendo en cuenta el grado de hidratación del lodo, ya que si éste es demasiado hidratado debe ser depositado en una base secadora para acelerar su deshidratación, y por último, se decide la mejor opción para el uso o desecho de los lodos, considerando los valores metálicos de recuperación ó los usos posibles del mismo, para lo cual se debe tomar en cuenta la pureza del precipitado. El manejo y eliminación de estos lodos es un gran problema y debe ser minimizado como una buena medida en la solución del problema inicial.

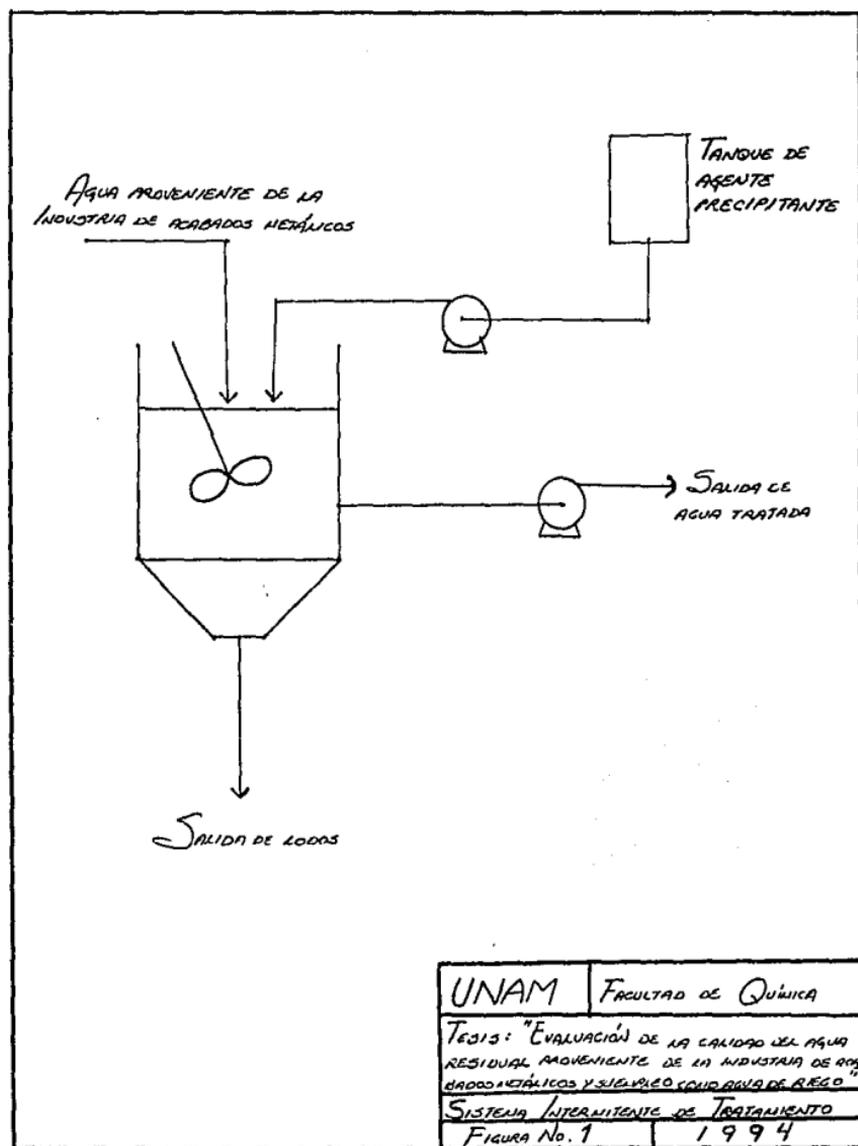
Los métodos básicos para el tratamiento de los efluentes basan su principio de operación en la adición de productos químicos que precipitan y/o neutralizan las sustancias contaminantes.

La operación del tratamiento puede ser intermitente o integrado.

El sistema intermitente se recomienda para instalaciones pequeñas y medianas, así como para aquellas en que sus tinas de enjuague son empleadas para varios lotes, y su contenido es renovado hasta el momento en que se presentan excesos en el agua, tales como acidez, alcalinidad, saturación del metal, etc. Este sistema puede ser manual o instrumentado.

En el sistema manual se agrega el agente neutralizante y precipitante al tanque de tratamiento, el cual consta de agitación continua, hasta llegar al rango de pH permitido, suspendiendo en este momento la adición por medio del bloqueo de la válvula. Después se presenta una sedimentación que ayudará al envejecimiento del precipitado, para posteriormente llevar a cabo la filtración, evitando la posible solubilización de la sal obtenida.

En el sistema instrumentado se cuenta con un control semi-automático con la adición de un potenciómetro y un controlador potenciométrico. El potenciómetro arranca la bomba de inyección del agente precipitante y neutralizante, que es suministrado hasta alcanzar un pH de 6.0, teniendo un rango de una unidad de pH hacia ambos lados de la escala del mismo, manteniendo la agitación en el tanque.



El controlador de pH está equipado con una alarma e intrconectado con la bomba de alimentación del agente precipitante. Con el aluminio precipitado en forma de sal, se procede a la filtración para llevar a cabo la separación del mismo. Posteriormente se emplea el lodo, en este caso puede venderse como agente clarificador, o dependiendo del resultado de la pureza, asignarle un posible uso.

En la figura 1 se muestra el sistema de tratamiento intermitente para la planta de acabados metálicos.

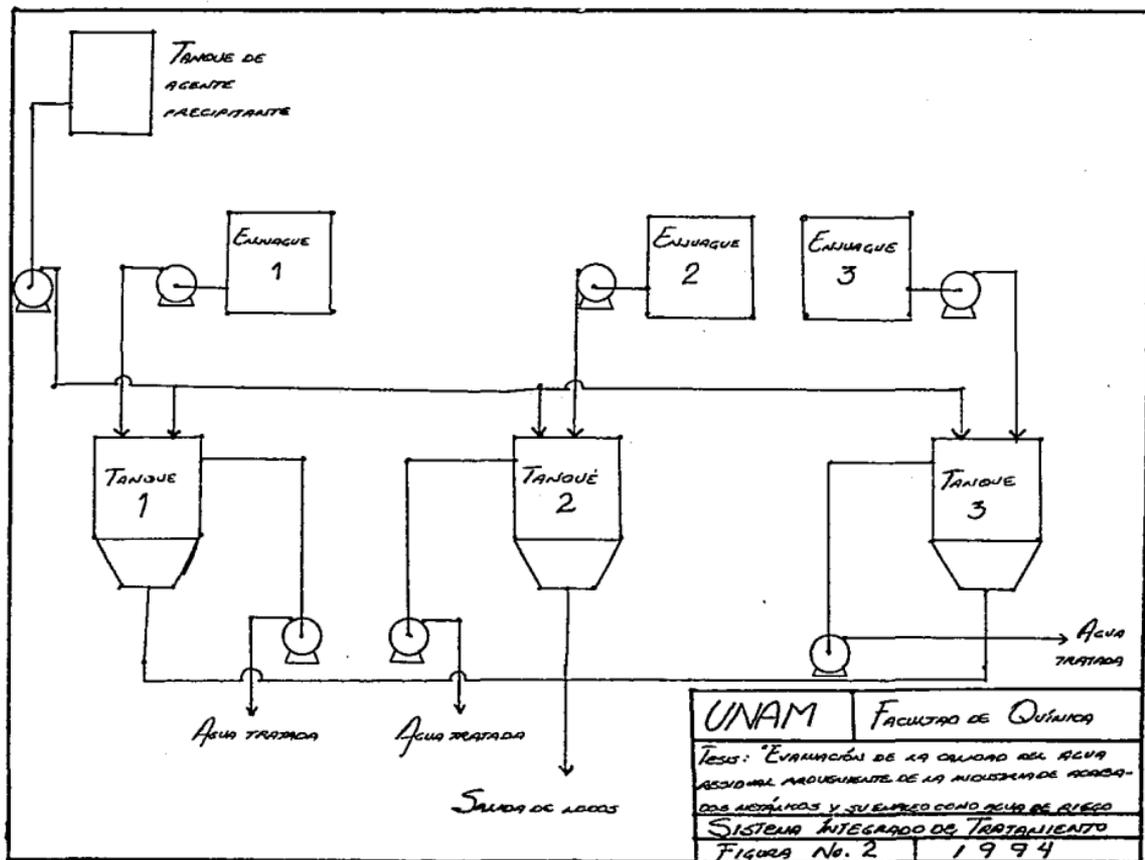
El sistema integrado presenta la facilidad de que el sistema de tratamiento está dentro de la secuencia del proceso de anodizado. Teniendo la ventaja de no requerir una instalación aparte para la planta de tratamiento, lo cual es contraproducente en algunos casos en que las instalaciones no permiten modificaciones extremas. Dicho sistema propondría el tratamiento de cada tina de enjuagado en tanques separados, que permitieran un circuito cerrado de utilización, y así se evitaría que se arrastraran contaminantes de la primera tina a la segunda por medio de cada pieza del proceso, y cuando se llevara a cabo la renovación total del contenido de las tinas, los contaminantes se encontrarían en la misma proporción, y se daría el tratamiento total en un tiempo mayor.

Presenta la desventaja de que si existe contaminación en el agua de retorno, hay un mal anodizado, por lo cuál se debe tener un control muy estricto.

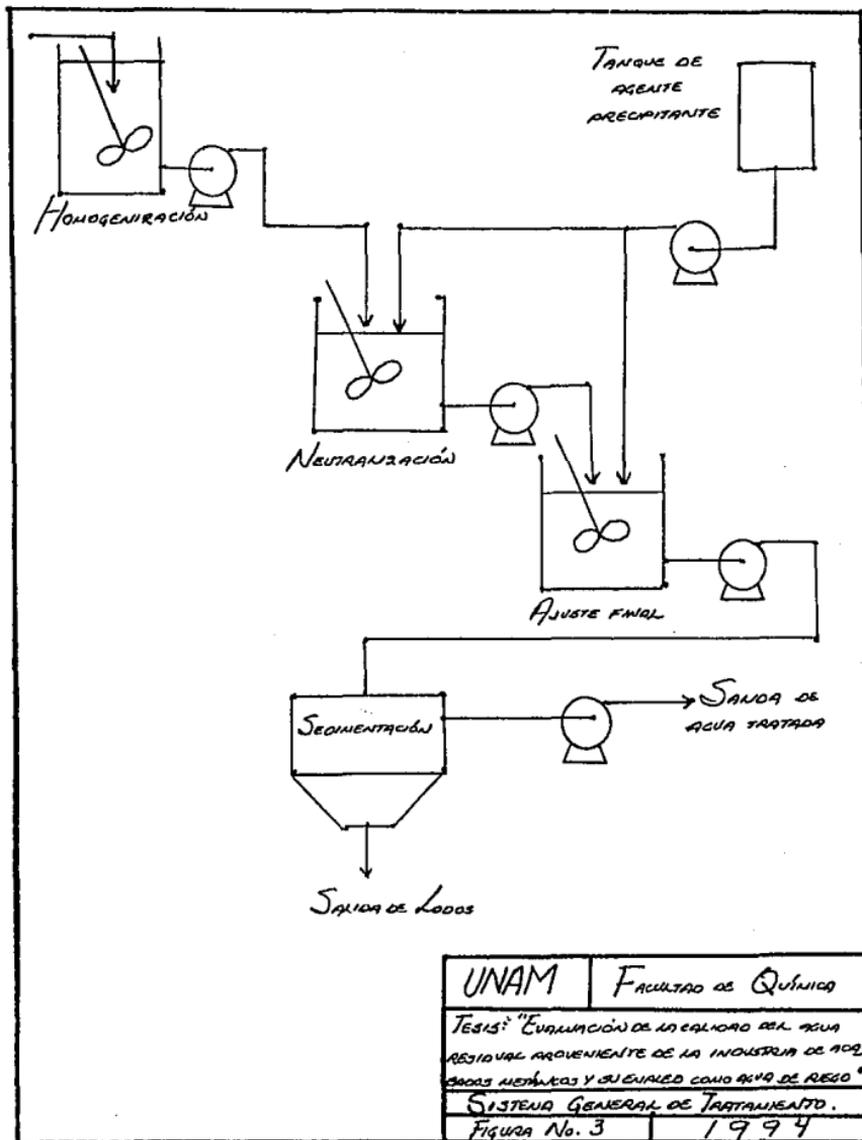
En la figura 2 se muestra un sistema de tratamiento integrado a la planta de acabados metálicos.

Debido a la acidez presentada, es necesario cuidar la neutralización y precipitación para proteger el equipo, por lo que la selección del tipo de precipitante se debe basar en el costo por tonelada de basicidad y precipitación disponible, la reactividad y el tipo de lodo producido y su manejo.

Después del tratamiento químico, los sólidos precipitados deben eliminarse. En algunos casos es suficiente el solo asentamiento. El asentamiento es por lo general continuo y demanda poco tiempo de retención. Los sistemas de sedimentación pueden ser recipientes de concreto o tanques de acero; se diseñan para permitir la fácil remoción de los lodos asentados, así como para obtener un líquido claro en la descarga, por ejemplo, la forma de pirámide cónica invertida que permite la sedimentación de lodos, que se acumulan y drenan fácilmente.



UNAM	FACULTAD DE QUÍMICA
Tesis: "Evaluación de la calidad del agua residual proveniente de la industria de aerosoles metálicos y su empleo como agua de riego"	
SISTEMA INTEGRADO DE TRATAMIENTO	
Figura No. 2	1994



UNAM	Facultad de Química
Tesis: "Evaluación de un calicido del agua regional proveniente de la industria de 902, 8000 métodos y su empleo como agua de rego"	
SISTEMA GENERAL DE TRATAMIENTO.	
Figura No. 3	1994

Los sistemas de asentamiento nunca son 100% eficientes, algunos sólidos pasan en el agua clara a pesar de cualquier diseño, existen trazas de metales disueltos que no se eliminan con asentamiento ni con filtración.

En la figura 3 se muestra un sistema general de tratamiento, en el cuál se da una idea de como sería la interacción entre los diversos equipos que formarían este sistema.

Sin embargo, la mayoría de hidróxidos metálicos residuales pueden eliminarse con filtración posterior a la sedimentación. En la filtración se puede usar un filtro de arena medio o mallas con espaciamiento adecuado. Posteriormente se procede a descargar los lodos y darle el uso adecuado, -y llevar a cabo la salida del agua residual con una calidad permitida para riego agrícola, y de esta manera cumplir con las normas emitidas para tal efecto, ayudando así a la población con un control eficiente del tratamiento resguardando la salud y la vida, ahorro de agua potable para ser empleada en casos de primera necesidad y apoyo al sector agrícola del país.

IV. PARTE EXPERIMENTAL, CÁLCULOS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El agua residual a tratar proveniente de un industria de acabados metálicos, descrita precedentemente, presenta los siguientes resultados de su análisis químico:

4.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL

Calcio Soluble	No detectable
Magnesio Soluble	0.3 ppm
Cloruros	50 me Cl ⁻ /lt
Sulfatos	1600 me SO ₄ ⁼ /lt
Carbonatos	No detectable
Bicarbonatos	No detectable
Sodio	30 me Na/lt
Potasio	0.40 me K/lt
pH	2.0
Conductividad eléctrica	3.3 x 10 ⁻³ mmhos/cm
Boro	No detectable
Aluminio	680 ppm
Cromo	0.003 me Cr/lt
Plomo	No detectable.
Zinc	No detectable
Cadmio	No detectable

4.2 ELIMINACIÓN DEL ALUMINIO EN LABORATORIO.

La Norma Oficial Mexicana sobre condiciones de pH para aguas de riego, fija un intervalo de 4.5 a 9.0. De igual manera fija una concentración máxima permisible de aluminio de 5 ppm, lo que corresponde a 1.85×10^{-4} M. De la gráfica de solubilidad teórica se observa que estos valores se cumplen en el rango de pH de 4 a 10. Eliminamos el intervalo de pH de 9 a 10, por estar fuera de norma.

Para confirmar estos valores se procedió a realizar la precipitación del aluminio adicionando hidróxido de amonio a diferentes valores de pH comprendidos entre 4.9 y 8.0

Se va adicionando hidróxido de amonio al agua a tratar y se agita. Se deja reposar 1 minuto hasta estabilizar el pH, y se favorece la sedimentación del precipitado. Posteriormente se procede a filtrar el agua tratada, y se realizan los análisis de caracterización para agua de riego.

Los resultados obtenidos de la experimentación a diversos pH son:

pH	4.9	5.5	6.1	6.4	7.1	8.0
Calcio	-	-	-	-	-	-
Magnesio	-	-	-	-	-	-
Cloruro	113 ppm	72 ppm	49 ppm	67 ppm	107 ppm	142 ppm
Sulfato	147 ppm	102 ppm	27 ppm	89 ppm	122 ppm	249 ppm
Carbonato	-	-	-	-	-	-
Bicarbonato	-	-	-	-	-	-
Sodio	122 ppm	97 ppm	80 ppm	112 ppm	175 ppm	220 ppm
Potasio	17 ppm	9 ppm	5 ppm	8 ppm	12 ppm	28 ppm
c.e.*	1.9×10^3	0.9×10^3	0.8×10^3	0.87×10^3	1.3×10^3	1.6×10^3
Boro	-	-	-	-	-	-
Aluminio	26 ppm	4.9 ppm	2.2 ppm	4.6 ppm	40 ppm	160 ppm
Cromo	-	-	-	-	-	-
Plomo	-	-	-	-	-	-
Zinc	-	-	-	-	-	-
Cadmio	-	-	-	-	-	-

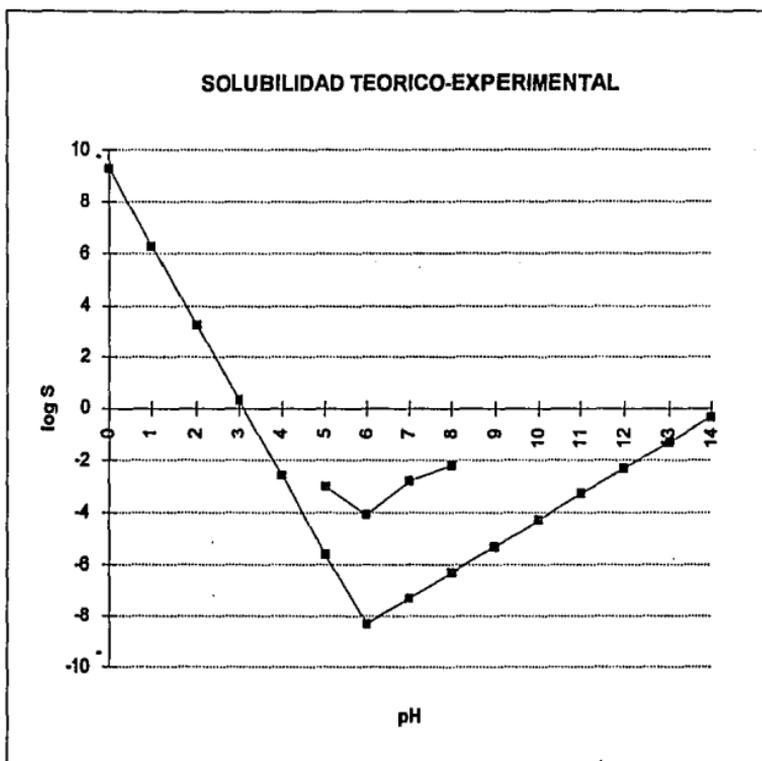
* Unidades de mmhos/cm

Por lo cual, se concluye que gráfica y experimentalmente, el mejor pH para trabajar es el de 6, y tenemos una unidad de pH para poder cumplir con las normas de contenido de aluminio.

De los valores experimentales se observa que la solubilidad del aluminio pasa por un mínimo a $\text{pH}=6.1$ y ésta aumenta hacia ambos medios. Esto mismo se observa para todos los componentes de la solución, lo cual podría estar ligado con el efecto clarificador del hidróxido de aluminio.

De esta manera, se propone que una opción de disposición de lodos sea el de utilizar el hidróxido de aluminio removido, en la clarificación de las aguas residuales provenientes de otros procesos.

Para el aluminio se tiene el siguiente comportamiento:



En todo el intervalo de pH estudiado se observa que la solubilidad experimental es menor a la calculada teóricamente.

Esto puede deberse a que se tienen otros factores que pueden afectar la precipitación del aluminio como por ejemplo, la complejación debida a otras sustancias que participan en el proceso de anodizado, tales como el ácido sulfotálico, el ácido oxálico, etc., los cuales pueden formar complejos con el aluminio y por lo tanto aumentar la solubilidad de éste.

V. CONCLUSIONES.

1. En principio, es factible realizar un tratamiento de purificación del agua proveniente de la industria de acabados metálicos (anodizado de placas de aluminio), mediante precipitación, para que ésta pueda ser utilizada como agua de riego.
2. Se recomienda implantar el sistema de tratamiento intermitente, debido a que se tiene un mejor control de los contaminantes presentes en el agua tratada, y ayuda en el proceso el renovar cada tina con contenido nuevo que tratado.
3. Al implantar el uso de aguas residuales en riego agrícola:
 - a) Se liberan grandes volúmenes de agua para darles prioridad a aquellos que exigen mayor calidad y cantidad.
 - b) Se fomenta el desarrollo agropecuario, en zonas agrícolas de baja producción debido a la falta de este recurso, y las aguas residuales pueden ser empleadas y hacer cultivos de riego.
4. En ocasiones, la falta de agua puede producir baja productividad, por lo que al usarla en este sector productivo, se aumenta y asegura la productividad a lo largo del año.
5. Para evitar una máxima contaminación en los cuerpos receptores debido a la gran cantidad de contaminantes que las aguas residuales llevan en la gran mayoría de los casos, ésta es una forma apta para disponer de ellas, sin poner en riesgo la salud y la economía de la población.
6. Dependiendo de las características que posea esta agua residual, en muchos casos puede aumentar la cantidad de nutrientes, haciendo menos necesario el uso de fertilizantes que pueden ocasionar otros problemas secundarios.
7. Así como se aumentan nutrientes, se pueden aumentar las cantidades de materia orgánica, y modificar la estructura de un suelo improductivo, volviéndolo productivo.
8. Al proporcionarle un tratamiento, se prevee la contaminación de mantos subterráneos debido a la infiltración que se dará con dicho riego.

9. La sociedad mejorará notablemente, debido a que el agua con la calidad que se requiere para consumo humano será proporcionada en mayor cantidad y el agua residual, será utilizada en riegos de áreas verdes y agrícolas, que satisfacen también necesidades comunitarias.

10. Debido a que en las zonas áridas y semiáridas de la República, los suelos que existen son principalmente alcalinos, se tiene la ventaja de asegurar la nula absorción de metales pesados y otros contaminantes por el cultivo, y así llegar hasta el ser humano de manera perjudicial.

11. Asegurando la no supervivencia de organismos patógenos y la no presencia de compuestos tóxicos, es una forma de evitar la contaminación de plantas y suelos.

12. Procurando la baja existencia de sales, se asegura una buena productividad y una buena calidad en los suelos, ya que éstas ocasionan problemas a los terrenos que carecen de un buen drenaje.

12. Se debe tener cuidado con los cultivos restringidos, y apearse a las normas para constatar la calidad química, física y bacteriológica de las aguas para evitar la contaminación por falta de éstas.

14. Evitar utilizarlas en caso de malos olores, pero éstos deben ser eliminados en lo mayormente posible antes de emplearlas en el destino seleccionado.

15. El intervalo de pH en el cual se lleva a cabo la precipitación del aluminio es aceptable y asegura el cumplimiento de la norma.

16. Las condiciones a que se produzca esta agua residual, aseguran que se elimine el aluminio por debajo de los límites máximos permisibles.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

1. "Métodos standard para el exámen de aguas residuales y aguas de desecho"; American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation; 11a. Edición; Editorial Interamericana, S.A.; México; 1963.
2. "Federal Emergency Management Agency"; 1987.
3. "Minerals Yearbook"; U.S.; Department of the Interior; Washington, 1991
4. "Memorias del Taller Agua y Desarrollo Agrícola", sostenido en Cd. Obregón, Sonora, "Programa Agua Limpia y el Manejo del Agua Residual"; José Luis Calderón; 1991.
5. "Aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola. Situación Actual en México". Documento preparado para el: "Taller regional para las Américas sobre aspectos de salud. Agricultura y Ambiente. Vinculadas al uso de aguas residuales". Comisión Nacional del Agua. Noviembre 1993.
6. "Instructivo de uso y control de aguas residuales en poblaciones de más de 10,000 habitantes". Comisión Nacional del Agua. 1990.
7. "Manual técnico para el uso, manejo y aprovechamiento de las aguas residuales en riego agrícola". Comisión Nacional del Agua. Documento Interno. México, 1990.
8. "Reglamento para el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola"; S.A.R.H.; 1988.
9. "Evaluación del impacto de los metales pesados del agua residual proveniente de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), en el recurso suelo y en cultivos en los municipios de Jilotepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, Estado de Morelos"; Torres Morales, Juan; Tesis; 1992.
10. "Química, enfoque ecológico"; T. R. Dickson; 1a. Edición; Editorial Limusa; México; 1989.
11. "Química Analítica"; Skoog & West; 4a. Edición; Editorial Mc. Graw Hill, S.A.;

México; 1989.

12. "Química General Moderna"; José A. Babor, et. al.; Editorial Epoca, S.A.; España; 1986.
13. "Ley de Aguas Nacionales"; Diciembre 1992.
14. "Estudio para la aplicación de técnicas que reduzcan los impactos ambientales en el uso y manejo de aguas residuales para riego agrícola"; 1991.
15. "Manual de recomendaciones para la reducción del impacto ambiental en el manejo y disposición de aguas de retorno agrícola"; 1991.
16. "Handbook on the Toxicology of metals"; Volume II; Lars Friberg, Gunnar F. Nordberg, Velimir B. Veuck, Editorial Elsevier; Netherlands; 2nd. Edition; 1986.
17. "Química Analítica Cuantitativa (teoría y semimicromédodos)"; Dr. Fernando Burriel Martí, Dr. Felipe Lucena Conde; Editorial Paraninfo; Madrid, España; 1979
18. "Atlas of metal ligand equilibria in aqueous solution"; J. Kragten; John Wiley and Sons; 1st. Edition; 1978.
19. "The hydrolysis of cations"; Charles F. Baez, Jr, Robert E. Nesmer; John Wiley and Sons; 1976.
20. Diario Oficial de la Federación; 18 de Octubre de 1993.
21. "Fundamentos de control de la calidad del agua"; T:H:Y: Tebbutt; Editorial Limusa; 1990.
22. "Taller Internacional de reuso del agua en la agricultura. Experiencia México-Israel. Ponencia: Panorama general sobre la reutilización del agua en el riego agrícola en México"; Arango Maldonado, Jose M.; 1990.

VII. ANEXO.

NOTA: Las metodologías para la caracterización de elementos en aguas residuales provienen de la Norma Oficial Mexicana correspondiente, o de la Norma Técnica Ecológica según sea el caso.

TÉCNICAS DE LABORATORIO.

DETERMINACIÓN DE ALUMINIO.

1. Se toman 50 ml. de muestra en un matraz ErlenMeyer de 250 ml., agregar 1 gota de indicador de parnitrofenol, agregar gota a gota hidróxido de amonio hasta colorear de amarillo, agregar ácido clorhídrico hasta que desaparezca el color, agregar 1 ml. de solución de ácido cítrico y 2 ml. de solución aluminón-amortiguadora, preparada con: 133 g de acetato de amonio el 100 ml de agua, 126 ml de HCl, 09 g de la sal del ácido aurín tricarbóxico en 100 ml de agua, 10 g de goma de acacia o arábica en 100 ml de agua, mezclando todo y aforando a un litro. Mezclar. Tratar a baño maría a ebullición durante 15 minutos y enfriar en baño de hielo a 25°C. Diluir a 100 ml. con agua destilada. Leer en espectrofotómetro a longitud de onda de 525 milimicras. Comparar el resultado en una curva patrón.

2. Tomar 25 ml. de muestra, agregar EDTA 0.01 en exceso, ajustar pH entre 7 y 8 con solución de hidróxido de amonio. Tratar a baño maría durante pocos minutos, enfriar a temperatura ambiente. Agregar 50 mg. de eriocromo negro. Titular rápidamente con solución standard 0.01 M de sulfato de zinc. El cambio se observa del paso de azul a rojo vino.

NOTA: Cada ml. de diferencia entre el volumen de EDTA y el sulfato de zinc contiene 0.2698 mg. de Al.

DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS.

En un matraz ErlenMeyer de 125 ml., colocar de 10 a 25 ml. de muestra, agregar 0.5 ml. de azul de bromofenol, titular con HCl 0.05 N. Preparar un testigo.

DETERMINACIÓN DE BORO.

Colocar en una cápsula de porcelana, un volumen de muestra de 1-5 ml., agregar 5 ml. de hidróxido de calcio 0.05 N, evaporar a sequedad. Enfriar. Agregar 1 gota de fenolftaleína, agregar HCl 2.5 N gota a gota hasta desaparecer el color y un exceso de 0.5 ml., agregar 4 ml. de solución de curcumina-ácido oxálico, preparada a partir de: 0.04 g de curcumina y 5 g de ácido oxálico en 100 ml de alcohol etílico al 95%. Evaporar a sequedad en baño maría, dejar secar 15 minutos más. Humedecer con 20 ml. de alcohol etílico, transferir a tubos de centrifugación, y centrifugar durante 10 minutos a 2500 rpm. Decantar en un matraz aforado de 25 ml. y aforar con alcohol etílico. Leer en espectrofotómetro a 550 milimicras de longitud de onda.

DETERMINACIÓN DE CADMIO.

Pipetear 150 ml. de muestra, agregar 0.2 ml. de HCl concentrado, reposar 2 minutos y filtrar. Agregar 5 ml. de tartrato de sodio y potasio, preparada con 50 g de tartrato de sodio y potasio en 250 ml. de agua destilada. Ajustar pH a 2 con HCl concentrado. Vertir a un embudo de separación de 125 ml. Extraer con porciones de 5 ml. de solución de ditizona, hasta que la capa orgánica quede incolora. Desechar los lavados. Lavar con 5 ml. de tetracloruro de carbono y tirar el lavado. Pasar la solución acuosa a un vaso de 150 ml. Agregar 5 ml. de tartrato de potasio y sodio, ajustar el pH entre 8.5 y 9 con hidróxido de sodio concentrado. Regresar la solución al embudo de separación, agregar 5 ml. de dimetilgloxima. Agitar 30 segundos. Extraer con 2 ó 3 porciones de 20 ml. de hidróxido de sodio 0.5 N. Lavar con agua destilada y tirar los extractos. Filtrar la solución roja del complejo de cadmio-ditizona a un matraz aforado de 25 ml., lavar el papel filtro con tetracloruro de carbono y leer a una longitud de onda de 515 milimicras. Trabajar un testigo.

DETERMINACIÓN DE CALCIO.

Tomar 2 ml. de alícuota, agregar 8 ml. de solución de citrato de sodio amoniacal, agregar 6 ml. de solución de estearato de amonio, dejar reposar 30 minutos. Leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 milimicras. Preparar un testigo.

DETERMINACIÓN DE CARBONATOS.

Colocar de 10 a 25 ml. de alícuota y agregar 3 gotas de fenolftaleína, titular con HCl 0.05 N.

DETERMINACIÓN DE CLORUROS.

Tomar de 10 a 25 ml. de muestra, agregar 3 gotas de fenolftaleína, agregar carbonato de calcio hasta color rosa, agregar ácido sulfúrico concentrado o ácido nítrico concentrado hasta que desaparezca el color. Agregar 1 ml. de solución saturada de cromato de potasio y titular con nitrato de plata de concentración conocida. Preparar un testigo.

DETERMINACIÓN DE CROMO.

Tomar 45 ml. de muestra en un matraz aforado de 50 ml., agregar 2 ml. de solución ácida y aforar con agua. Dejar reposar 10 minutos y leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 milimicras.

DETERMINACIÓN DE DBO.

Incubar la muestra durante 5 días a una temperatura de 20°C, y colocar la muestra en un frasco Winkler, se adicionan 2 ml. de sulfato manganoso, 2 ml. de alcali yoduro-nitruro. Tapar el frasco, y agitar vigorosamente y dejar reposar para que se precipite el complejo manganoso hasta que se tenga un sobrenadante de aproximadamente 100 ml. Se agregan 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se agita hasta que se disuelva completamente el precipitado, Titular con tiosulfato de sodio 0.025 N, usando una solución de almidón como indicador. El DBO se determina haciendo la diferencia de presencia de oxígeno inicial y el oxígeno después de la incubación.

DETERMINACIÓN DE DQO.

Colocar 0.4 gramos de sulfato mercurioso en un matraz de reflujo. Adicionar 20 ml. de muestra, o una alícuota aforada a 20 ml. con agua destilada y mezclar. Agregar 10 ml. de solución de dicromato de potasio y algunas perlas de vidrio previamente calentadas a 600°C durante una hora. Conectar el matraz al condensador y agregar lentamente 30 ml. de ácido sulfúrico

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

concentrado. Mezclar. Comenzar la extracción. Usar 0.4 g. de sulfato mercurioso para completar 40 mg. de ión cloruro ó 2000 mg/lit cuando se usan 20 ml. de muestra. Reflujar la mezcla por dos horas o usar períodos más cortos si el contenido de DQO así lo permite. Enfriar y lavar el destilador con agua destilada. Diluir la mezcla a cerca de 150 ml. con agua destilada, enfriar a temperatura ambiente y titular el exceso de dicromato de potasio con solución de sulfato ferroso amoniacal estándar, usando ferroín como indicador. Se prepara un blanco.

DETERMINACIÓN DE MAGNESIO.

Tomar 3 ml. de alícuota y agregar 1 ml. de solución de clorhidrato de hidroxilamina, agregar 5 ml. de solución de almidón, agregar 1 ml. de amarillo de titán, agregar 5 ml. de hidróxido de sodio. Aforar a un volumen de 50 ml. Leer a una longitud de onda de 550 milimicras. Preparar un testigo.

DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO.

La muestra se coloca en un frasco Winkler, se adicionan 2 ml. de sulfato manganoso, 2 ml. de alcali yoduro nítruro. (Si se forma un precipitado café es que existe oxígeno, si el precipitado es blanco, es que se carece de él). Tapar el frasco y agitar vigorosamente y dejar reposar para que se precipite el complejo de manganeso hasta que se tenga un sobrenadante aproximado de 100 ml. Se agregan 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se agita hasta que se disuelve completamente el precipitado. Titular con tiosulfato de sodio 0.025 N, usando una solución de almidón como indicador.

DETERMINACIÓN DE PLOMO.

Tomar 50 ml. de muestra, evaporar hasta un volumen aproximado de 40 ml. Se deja enfriar y se agregan 10 ml. de tri sodio citrato 2-hidrato y 2 ml. de hidróxido de sodio concentrado. Se mezcla y se pasa a un embudo de separación de 125 ml. Se extrae con agitación vigorosa por 30 segundos, con una porción de 5 ml. de solución madre de ditizona, dejar reposar para la separación de fases, separar la fase orgánica de la acuosa y llevar a otro embudo de separación de 125 ml., agregar 5 ml. más de ditizona a la fase acuosa, agitar, dejar reposar, separar nuevamente la fase orgánica si es que se mantiene el mismo color y si existe alteración se desecha la existente en el embudo, agregar 25 ml. de solución de clorhidrato de hidroxilamina, agregar 5 ml. de solución amoniacal de cianuro, agregar 20 ml. de solución normal de ditizona, agitar vigorosamente 1 minutos y dejar reposar, desechar los primeros 2 ml. de cloroformo. Leer

en espectrofotómetro a una longitud de onda de 510 milimicras. Preparar un testigo.

DETERMINACIÓN DE SODIO.

Tomar una alícuota de 10 ml., leer en flamómetro, calibrando el aparato con agua destilada y solución de 50 ppm de Na en agua. Se lee en coarse 3. Obtener me Na/lt de tablas.

DETERMINACIÓN DE SULFATOS.

Colocar 10 ml. de alícuota, agregar 1 ml. de solución de goma de acacia, agregar 1 ml. de solución de HCl 6 N, agitar, agregar 0.5 g de cloruro de bario, dejar reposar 1 minuto y agitar. Leer a una longitud de onda de 470 milimicras. Correr un testigo con agua destilada.

DETERMINACIÓN DE ZINC.

Tomar 50 ml. de muestra en un embudo de separación de 125 ml., agregar 5 ml. de solución buffer y 2 gotas de fenolfaleína, agregando hidróxido de amonio hasta coloración rosa, agregar 10 ml. de ditizona y vaciar la fase de tetracloruro de carbono en otro embudo de separación, agregar 50 ml. de HCl 0.05 N. Hacer 2 lavados de 10 ml. de ditizona cada uno. Agregar 5 ml. de tetracloruro de carbono. Agitar. Combinar todos los extractos. Desechar la fase acuosa del primer embudo. Agitar 2 minutos el embudo que contiene los 50 ml. de HCl y desechar la fase de tetracloruro de carbono. Enjuagar los 5 ml. de tetracloruro de carbono. Desechar la fase de tetracloruro de carbono y agregar 5 ml. de solución buffer. Agregar 2 gotas de fenolfaleína e hidróxido de amonio hasta que dé color rosa, agregar 10 ml. de carbamato, 10 ml. de ditizona y agitar 4 minutos. Desechar la fase acuosa por aspiración, agregar 50 ml. de hidróxido de amonio. Pipetear 5 ml. del extracto rojo violeta y transpasar a un matraz aforado de 25 ml. Aforar con tetracloruro de carbono y leer a una longitud de onda de 535 milimicras en el espectrofotómetro. Preparar un testigo.