



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**“APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS
DE LA PRESA TAXHIMAY.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A

LUIS ABOGADO MONTES DE OCA

MEXICO, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

CLAS TESIS 1979
ASG H. T. 2
FECHA _____
PROC. _____
TB _____



PRESIDENTE: Prof. RAMON VILCHIS ZIMBRON.

VOCAL: Prof. FEDERICO LOPERENA GUERRERO.

Jurado asignado originalmente
según el tema.

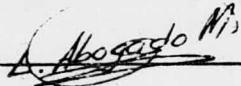
SECRETARIO: Prof. RAFAEL GARCIA NAVA.

1ER. SUPLENTE: Prof. JORGE MENCARINI PENICHE.

2o. SUPLENTE: Prof. ALBERTO DE LA FUENTE ZUNO.

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio Químico de la S.A.R.H.

Nombre completo y firma del sustentante: Luis Abogado Montes de Oca.



Nombre completo y firma del asesor del tema: Prof. Rafael García Nava.



Nombre completo y firma del supervisor técnico: Prof. Jorge Mencarini Peniche.



A mis padres
con cariño y agradecimiento

A Lupita
por su ayuda y comprensión
A Luis Ernesto y Luis Felipe.

A mis hermanos y hermanas

Gabriel
José
Francisco
Miguel
Guadalupe
María
Susana
Juan
Martha
Enrique
Ernesto
Teresa
Fernando
Jaime
Mónica

Y a todos aquellos que intervinieron en mi formación profesional, y en el desarrollo de este trabajo.

I N D I C E .

	<u>Página.</u>
I.- <i>Introducción.</i>	1.
I.1. <i>Objetivos.</i>	6.
II.- <i>Localización y Descripción de la Zona en Estudio.</i>	8.
II.1. <i>Localización.</i>	9.
II.2. <i>Descripción de la Zona en Estudio.</i>	10.
III.- <i>Aspectos Sociales y Económicos.</i>	18.
III.1. <i>Aspectos Sociales.</i>	19.
III.2. <i>Aspectos Económicos.</i>	28.
IV.- <i>Métodos de Tratamiento.</i>	34.
IV.1. <i>Clasificación y Descripción de los Métodos.</i>	35.
V.- <i>Materiales y Métodos.</i>	75.
V.1. <i>Muestrec.</i>	77.
V.2. <i>Análisis Físicos.</i>	80.

Página.

V.3.	<i>Análisis Químicos.</i>	81.
V.4.	<i>Análisis Bacteriológico.</i>	83.
	V.4.1. <i>Organismo Totales</i>	83.
	V.4.2. <i>Coliformes Totales</i>	89.
V.5.	<i>Prueba de Vasos.</i>	94.
VI.-	<i>Parte Experimental.</i>	98.
VI.1.	<i>Análisis Físico.</i>	98.
VI.2.	<i>Análisis Químico.</i>	100.
	VI.2.1. <i>Determinaciones Volumétricas.</i>	100.
	VI.2.2. <i>Determinaciones Colorimétricas.</i>	100.
	VI.2.3. <i>Examen Bacteriológico.</i>	124.
	VI.2.4. <i>Prueba de Vasos.</i>	128.
VII.-	<i>Resultados.</i>	135.
VII.1.	<i>Resultados Físico-Químicos.</i>	135.
VII.2.	<i>Resultados Bacteriológicos.</i>	144.
VII.3.	<i>Resultados de la Clarificación.</i>	147.

iii.

Página.

VIII.- *Conclusiones.*

184.

IX.- *Bibliografía.*

189.

I.- INTRODUCCION.

El valor del Ingeniero Químico está determinado por su habilidad para aplicar los principios básicos, hechos y métodos a fin de obtener algún propósito útil.

La responsabilidad principal del Ingeniero Químico es el diseño, construcción y operación de las plantas. Para esto, debe tener un conocimiento y entendimiento de todas las materias de su área y de algunos otros tópicos científicos relacionados, así como la capacidad para aplicar estos conocimientos a situaciones prácticas.

Al definir un proyecto o estudio, debe considerar los factores más relevantes involucrados en el desarrollo del proyecto o estudio; como son para el presente estudio, bases de localización, sistemas de abastecimiento de agua a la zona, lugares o zonas que demandan la necesidad de agua, cantidad suficiente de suministro, calidad adecuada del agua determinada por los métodos de análisis, métodos de tratamiento, etc. todas estas partes indi-

viduales del proyecto o estudio al combinarse darán una unidad o varias unidades completas, de las cuales el Ingeniero Químico seleccionará alguna de las propuestas, el preferido será el proceso más apropiado técnicamente para obtener el producto deseado y que a su vez implique un menor costo.

Por tal motivo, para el estudio o proyecto el Ingeniero Químico, debe conocer en principio la idea inicial y saber sobre las fases de diseño y operación, y en algunos casos de construcción. Por que en un momento dado puede reconocer y resolver los problemas y fallas causados en el desarrollo del proyecto.

La Ciudad de Tula, Hidalgo enclavada en el Valle del Mezquital situado al norte del Valle de México, es en realidad una prolongación de la cuenca de éste. La escasa precipitación pluvial que en la región varía de 300 a 600 mm. anuales, y generalmente menor a medida que se acerca a la sierra, es pues la característica que mayormente condiciona la situación del Valle del Mezquital.

Conociendo que el agua es el elemento que determina las posibilidades de vida de una región, es lógico pensar que las obras tanto de agua potable como de riego, son las que mayor trascendencia han tenido en la transformación del Valle del Mezquital y por lo mismo en el municipio de Tula, Hidalgo.

En esta región la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, se ha propuesto aprovechar al máximo los recursos hidráulicos disponibles, a fin de coadyuvar a la satisfacción de toda clase de programas a corto y largo plazo. Por otro lado, con la implantación de Industrias ya establecidas y otras futuras a establecerse de Petróleos Mexicanos y de la Comisión Federal de Electricidad, estas industrias suministrarán energéticos y materias primas básicas, por lo cual es factible la atracción de industrias de transformación, alimenticias y de productos agropecuarios.

Con estos beneficios, mejorarán las condiciones ecológicas, económicas y sociales de la zona hasta ahora deprimida, y

que junto con las posibilidades que abre el riego y la industria a una mayor tecnificación, redundará en un incremento importante en la población y en la producción agrícola e industrial.

Las instalaciones hidráulicas que actualmente se aprovechan en la región, como fuentes de abastecimiento de agua potable para diversas áreas del Mezquital, son los manantiales de Cerro Colorado y Tezontepec, los cuales con el tiempo se abatirán. Para cubrir las necesidades de agua, se consideró como fuente disponible la Presa de Taxhimay, como sustituto de las fuentes actuales, esta fuente puede ser la adecuada para suministrar el agua necesaria por su poca contaminación, como su cercanía a la Ciudad de Tula, Hidalgo, de dicha presa es posible controlar un caudal de agua superficial de $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ pero previamente tratadas y potabilizadas.

En 1937 se terminó el Sistema Taxhimay-Requena y desde entonces se han seguido haciendo obras de mejoramiento y ampliación de las cuencas de captación. A partir de 1964, la

↙ Presa Requena recibe aguas negras del emisor central del Distrito Federal, lo cual acarrea una gran contaminación en dicha Presa. En cambio la Presa Taxhimay y localizada aguas arriba de la Presa Requena, permanece igual desde su origen a la fecha, en lo que se refiere a contaminación.

I.1. OBJETIVOS.

Un sistema de abastecimiento de agua es un conjunto de obras que tienen como finalidad, entregar al usuario en su domicilio, habitante de la ciudad, el agua en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y continuidad en el servicio.

El presente trabajo se realiza con el objeto de conocer la posible o probable fuente de abastecimiento de agua al Municipio de Tula, Hidalgo, ya que en esta región se prevee tanto un incremento de industrias, como un aumento importante en la población urbana. Por este motivo, el agua hasta hoy suministrada en esta región no podrá mantener el paso acelerado del crecimiento demográfico e industrial, y tenderá a reducirse el consumo per cápita de agua, notándose en el abastecimiento de cada una de las poblaciones que comprende el Municipio de Tula, Hidalgo.

Debe prestarse la debida atención al suministro de agua potable de la región en estudio, problema que día

a día se agudiza por tener mayores demandas y bastante agotamiento de los suministros locales.

En suma, la finalidad de este trabajo es el de estudiar y tratar de resolver el problema de crecimiento que se presenta en materia de suministro de agua, para satisfacer la demanda de la población así como del tratamiento necesario.

Básicamente el objetivo es predecir y conocer la calidad del agua de la Presa Taxhimay, así como de sus efluentes, y una vez obtenidas las características químicas, se emprenderán estudios de laboratorio para evaluar las diversas alternativas de tratamiento. Las conclusiones servirán para determinar, si el agua es buena para el consumo humano y qué tipo de tratamiento es el adecuado para el agua en estudio.

II.- LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA EN ESTUDIO.

La localización adecuada es sin duda un factor clave en la determinación de la economía y éxito de cualquier estudio o proyecto.

La mejor localización depende de un gran número de factores, entre los cuales pueden señalarse la mano de obra, materias primas, energía eléctrica, transportes, mercado, etc., después de estudiar cuidadosamente todos los factores se incluye el área más conveniente. Para determinar esta área o zona hay que conocer la extensión, clima, altitud, topografía, tipo de suelo, etc.

La unión de los factores con la probable zona de localización, determinará el punto adecuado de la instalación del proyecto. Finalmente, se puede considerar que un proyecto o estudio está bien localizado cuando los beneficios individuales y sociales son los máximos.

II.1. LOCALIZACION.

El Estado de Hidalgo está situado en la zona central de la República Mexicana, entre los paralelos 19°36' y 21°24' de latitud norte y los 97°58' y 99°54' de longitud oeste de Greenwich. La entidad limita al norte con los Estados de San Luis Potosí, al este con Veracruz, al sureste con Puebla, al sur con Tlaxcala y México y al oeste con Querétaro, abarcando una extensión de 20,987 Km² que corresponde al 1.06% del área total del País.

El área en estudio está ubicada en la parte occidental del Estado de Hidalgo, en el Valle del Mezquital, este valle ocupa los municipios de Tezontepec, Mixquiahuala, Chilcuadla, Tula, Ixmiquilpan, Tasquillo, Alfajayucan, Actopan y Tepeji del Río.

La zona en estudio es el municipio de Tula, dentro de este se localiza la ciudad del mismo nombre que se encuentra a una distancia de 93 Kms. de la Ciudad de México y a 2,036 Mts. sobre el nivel del mar. Por otra parte, las Presas

Taxhimay y Requena, a 2,235 y 2,130 Mts. sobre el nivel del mar respectivamente, forman parte de la cuenca del río Tepeji y a la cual ambas presas llegan a controlar.

La presa Requena se encuentra cerca de la población de Tepeji del Río y aguas arriba de la misma, a 12 Kms. aproximadamente se localiza la Presa Taxhimay.

La distancia que existe entre la Ciudad de Tula y la Presa Taxhimay es de 25 Kms.

II.2. DESCRIPCION DE LA ZONA EN ESTUDIO.

1. Extensión.

Se puede considerar que la cuenca del Río Tepeji está dividida en dos partes:

a) La baja desde el Cañón del Calabozo donde se encuentra la Presa Taxhimay hasta la Unión con el Río de el Salto, aguas abajo de la Presa Requena.

b) *La alta que se encuentra limitada por la serranía del Monte Alto, en Cuautitlán y Tlanepantla y por la de Jilotepec en el estado de México.*

La extensión de la cuenca de captación de la Presa Taxhimay es de 358 Km.² en números redondos.

2. *Clima.*

De acuerdo con la clasificación del Dr. C.W. Thornthwaite, en el Estado de Hidalgo predomina el clima seco, con humedad deficiente en todas las estaciones, templado, sin estación invernal definida. La temperatura media anual es de 18°C. y la precipitación media de 513.9 mm. que aumenta a más de 1,500 mm. en la zona de la Huasteca, para reducirse a menos de 300 mm. en la zona de Ixmiquilpan. Por lo cual de acuerdo a lo anterior, puede clasificarse la zona en estudio como semiseco, con otoño y primavera secos, templado, sin estación invernal definida.

De los elementos climáticos, es la precipitación pluvial la que reviste mayor importancia en la ecología vegetal de la región, por ser el agua el factor limitante. La lluvia se concentra en el período de mayo a octubre, coincidiendo con la temporada calurosa. En la distribución anual de lluvias, los máximos se presentan entre los meses de junio a septiembre. El primero se debe a los vientos alisios, masas de aire que provienen del noroeste, mientras que el segundo está relacionado con los fenómenos ciclónicos originados en el Caribe o en el Golfo de México y que desplazan masas de aire hacia el noroeste. Los valores mensuales de las lluvias disminuyen del verano al invierno y los más bajos corresponden generalmente a febrero y marzo.

Por su parte, la temperatura media anual observada es de 18°C. y la temperatura máxima es de 38°C. (junio) y la temperatura mínima de -5°C. (enero).

La evaporación media anual observada en el período de 1957 a 1972 es de 1,954 mm. o sea que supera varias veces a la precipitación.

Debido a las condiciones climatológicas que predominan en la zona, el riego es indispensable para el desarrollo de la agricultura.

3. Altitud.

La altitud media de la zona varía desde 2,235 Mts., en la Presa Taxhimay hasta 2,036 Mts., para Tula, Hidalgo, como se ve en la tabla anexa de datos climatológicos típicos.

4. Topografía.

La zona de la Presa Taxhimay está intercalada entre cerros que se extienden a todo lo largo del río Tepejtí, la cual tiene topografía ondulada con fuertes pendientes; la zona de Tula, está ubicada en una loma alargada que se extiende hasta la población de Santa Ana Ahuehuetani. La topografía es en general accidentada con fuertes pendientes en la zona de Taxhimay y con una pendiente moderada en la zona de Tula, Hidalgo.

DATOS CLIMATOLÓGICOS TÍPICOS (24).

Precipitación media anual y elevaciones del lugar dentro de la cuenca del Río Tula.

<i>Sitio.</i>	<i>Elevación msnm.</i>	<i>Lluvia media anual mm.</i>
<i>P. Taxhimay</i>	2235	785
<i>Tepeji del Río</i>	2130	777
<i>Tula</i>	2036	674
<i>Mixquiahuala</i>	1950	550
<i>Actopan</i>	2000	440

Temperatura en algunos sitios dentro de la Cuenca del Río Tula.

<i>Sitio.</i>	<i>Temperatura.</i>	
	<i>Máxima</i>	<i>Media</i>
<i>P. Taxhimay</i>	34	17
<i>Tepeji del Río</i>	32	15.5
<i>Tula</i>	42	17
<i>Actopan</i>	35	16
<i>Ixmiquilpan</i>	41	19

5. Suelos.

En las zonas centro y norte del Estado predominan los suelos chemozen (negros), tipo migajón, tipo rendzina y en la zona sur los suelos típicos de las zonas áridas, lugar donde se localiza la zona en estudio.

6. Cubierta Vegetal.

La temperatura y la precipitación determinan la comunidad vegetal de la zona, para Tula, Hidalgo esta constituida por lo general por matorrales y mezquites arbustivos, en lo referente a la zona de la Presa Taxhimay, existen áreas altas totalmente cubiertas de vegetación, y áreas bajas semejantes a las de Tula.

7. Recursos Hidráulicos.

El desarrollo agrícola del área dominada por el Distrito de Riego del Río Tula está basado en el aprovechamiento

miento de las aguas del Río Tula y sus tributarios, los ríos Tepeji, Tlaxtla, Rosas, El Salto y Salado.

El Río Tepeji está controlado mediante las Presas Taxhimay y Requena, con capacidad de 50 y 70 millones de m^3 respectivamente; las aguas sobrantes del río Tepeji y las que aportan los ríos Tlaxtla, Rosas y el Salto, se controlan en la presa Endó, construída sobre el río Tula con capacidad para 182 millones de m^3 .

La Presa Taxhimay controla las avenidas de los ríos San Luis de las Peras y las Tenerías; los cuales a su vez tienen como afluentes los ríos Macavaca, La Capilla, San Francisco, Seco, San Jerónimo; que nacen en la serranía de Jilotepec; entre los cerros de Mesa de Lobos, San Francisco de Tablas, Macavaca, Chapa de Mota, La Bufa, Iglesia Vieja y el Idólatra.

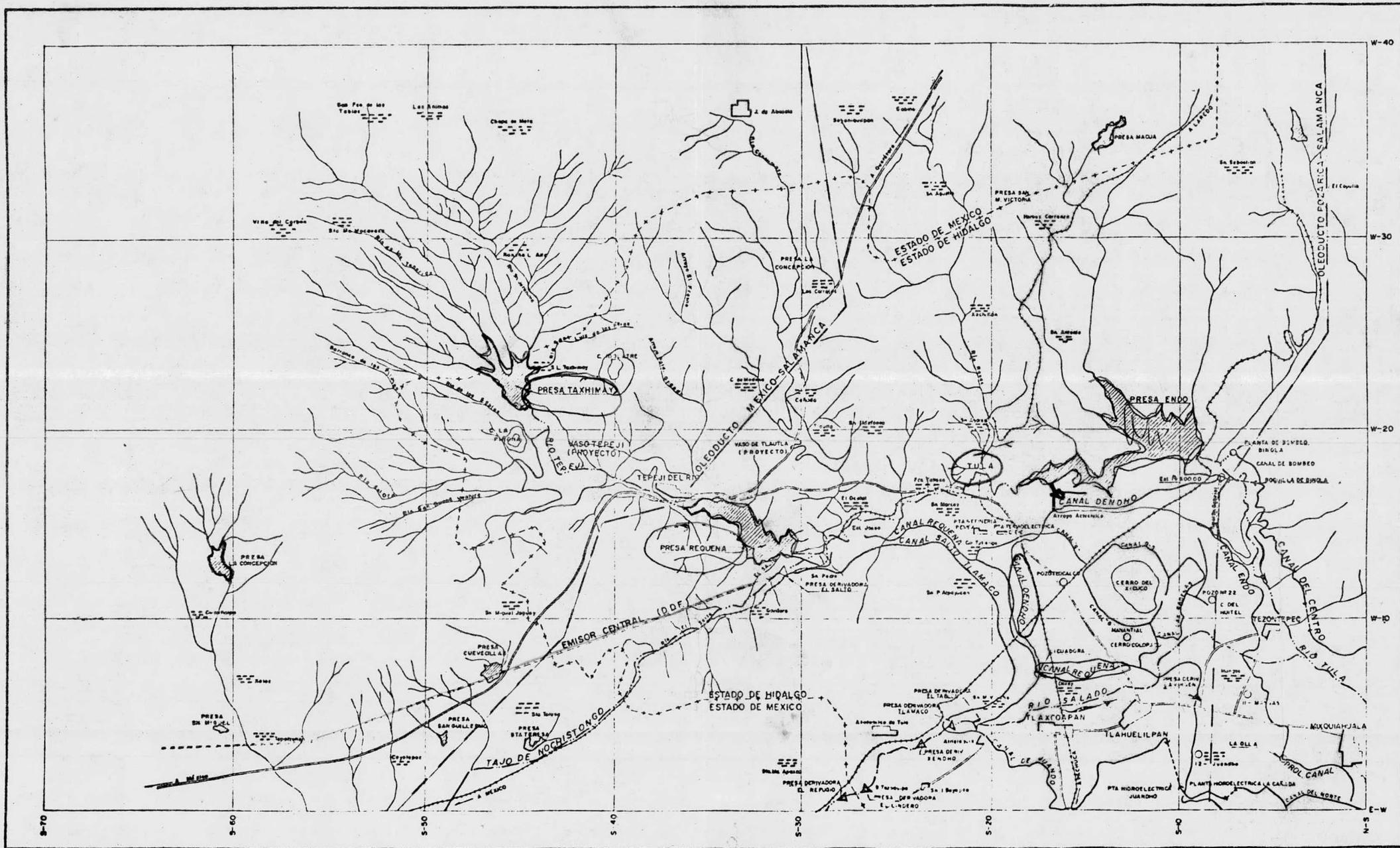
También existen una serie de pozos y manantiales susceptibles de proveer los volúmenes necesarios.

Tabla 1.

POZOS Y MANANTIALES EN EL VALLE DEL MEZQUITAL.

(Datos proporcionados por la S.A.R.H. Gerencia General en el Estado de Hidalgo).

<u>Pozos</u>	<u>Elevación Terreno m</u>	<u>Gasto l/s.</u>	<u>Elevación msnm</u>
1. Capula	1762	80	1692
2. Mixquiahuala	1988		
3. Actopan	1958	35	1928
4. Huaxtla	1991	118 *	1958
5. Tepatepec (1)	1981	55	1940
6. Tepatepec (2)	1985	78	1941
7. Fénix	1959	130	1911
9. Chilcuautla	1929		1829
11. Mangas	2003	100 *	1983
12. Juandho	2027	66 *	1986
13. Chichimecas	1841		
15. Teocalco	2062	70 *	2025
Tlaxcoapan	2108	27	2068
V. Guerrero	2095	8	2003
Ajacuba	2075	46	2004
Bojay	2045	83	2034
Pozo Grande	1965	74	1955
		<hr/> 970	
* Puede incrementarse.			
<u>Manantiales</u>			
I.- Cerro Colorado	2041	36	
II.- Tezontepec	1959	600	
III.- Salitre	2035	160	
IV.- Mixquiahuala	1910	196	
VI.- Eteco	1891	480	
VII.- Tephe	1778	130	
VIII.- Maguey Blanco	1810	130	
IX.- Dios Padre	1680	90	
X.- Pueblo Nuevo	1780	100	
XI.- El Vidho	1644	115	
XII.- Ajacuba	2147	36	
XIII.- Humedades	1720	60	
		<hr/> 2 797	



III.- ASPECTOS SOCIALES Y ECONOMICOS.

Las tendencias que adoptan el crecimiento, la distribución de población y los fenómenos migratorios, tienen una estrecha relación con las diferentes condiciones físicas que prevalecen en la región, la morfología del terreno se viene modificando con la construcción de obras de infraestructura y la introducción de servicios.

Las áreas con más obras de infraestructura se hacen más propias al arraigo y crecimiento de la población además de atractivas para emigrantes internos. Al ser el Valle del Mezquital una región árida con escasa industria hasta ahora, y que depende básicamente de la tierra para el mantenimiento de sus pobladores, es sin lugar a duda el riego hasta hoy el que puede significar el mayor impacto en la orientación de su demografía y poblamiento. Pero no cabe olvidar que también la industrialización, de la zona en estudio, está en proceso de desarrollo lo cual también nos llevará a lo dicho anteriormente.

A continuación se describen dos grandes grupos: Sociales y Económicos, los cuales a su vez agrupan una serie de aspectos muy importantes para su integración y desarrollo.

III.1. ASPECTOS SOCIALES.

Los aspectos sociales dentro de una región o zona son de primordial importancia ya que marcan la existencia de desequilibrios, indicando hacia que grupos sociales van encaminados los beneficios, o la existencia de graves lastres que retardarán la integración nacional y la misma marcha del desarrollo en la región estudiada.

Las tasas anuales de crecimiento económico, de ingreso per cápita, etc., no reflejan la distribución de los logros del desarrollo por lo que interesa manejar aquellos indicadores que permitan conocer los desequilibrios existentes. Para ello puede tomarse indicadores de toda índole, sin embargo, sólo se utilizan algunos que permitan medir distancias entre áreas territoriales, entre grupos humanos y entre sectores de actividad.

Utilizando indicadores socio-culturales, que aparecen cuantificados en los censos nacionales, es posible lograr un acercamiento a la realidad de los desequilibrios en el desarrollo y que permitirá hacer algunos análisis comparativos.

Las diferencias en ingresos por sectores de actividad, determinan en alto grado los desequilibrios sociales, lo que contribuye a fomentar grupos de intereses que rompen el equilibrio operando negativamente en el proceso de integración y desarrollo.

1. Vías de Comunicación.

La zona de influencia cuenta con un sistema vial que además de intercomunicarla, la conecta con la ciudad de México y los grandes centros urbanos de la región central del país. El sistema se ha venido introduciendo al Valle a partir de 1926 con la apertura de la carretera México-Nuevo Laredo; posteriormente la carretera México-Querétaro quedando unidas por la carretera Actopan-Tepeji del Río.

En vías férreas el Estado tiene comunicación con el ferrocarril México-Laredo que atraviesa el Estado de norte a sur teniendo las siguientes estaciones: Vito, Teocalco

y Carrasco, el ferrocarril México-Ciudad Juárez lo cruza de norte a sur tocando las estaciones de: El Salto, Jasso, Tolteca y Tula; el ferrocarril local que va de Pachuca-Tula; la proximidad de la región a la Ciudad de México y otros centros de población importantes, así como la categoría de las carreteras y vías férreas que atraviesan el Mezquital, han sido factores importantes para el fomento de las transacciones socio-económicas, así como para los movimientos migratorios y el contacto cultural.

2. Servicios.

Las condiciones de bienestar social de la zona son precarias en lo que se refiere a salud pública, ya que la mayor parte de la población vive y trabaja en el campo, por lo que carecen de seguridad social, hay un hospital general y varios dispensarios auspiciados por el Patrimonio Indígena del Valle del Mezquital y por comunidades religiosas, así los centros de salud y el personal médico resulta insuficientes, debido a los problemas del medio ambiente en que se desenvuelve la vida diaria de los habitantes de esa zona.

En materia de habitación, en el centro urbano predominan las casas construidas de mampostería y de ladrillo, que vienen a representar el 39% del total de viviendas y el 61% restantes son casas hechas de pencas de maguey y adobe que carecen generalmente de agua potable y drenaje.

Con el programa actual de implantación de nuevas industrias, tanto de la Comisión Federal de Electricidad, como de Petróleos Mexicanos, traerá consigo un cambio de los patrones o modelos de distribución de la población y en las perspectivas que abre para la instalación de nuevas fuentes de trabajo.

El agua es quizá uno de los servicios en la actualidad primordiales del hombre ya sea para su vida o para su desarrollo. Las aguas como servicio pueden clasificarse:

- a) Potable o municipal*
- b) Industrial*
- c) Agrícola*

La calidad del agua depende en general del clima, de la geología y topografía de la región de la que proviene y del grado de contaminación a que está sujeta.

Agua Municipal.- Es el agua que se proporciona fundamentalmente como agua potable, y que es utilizada por varios sectores; como son: doméstico, comercial, público y en algunos casos suministrado a industrias que necesitan agua de grado potable.

Agua Industrial.- Se puede definir como la utilizada directa o indirectamente en un proceso industrial. Los usos industriales básicos del agua los podemos agrupar en las siguientes categorías: generación de vapor, transferencia de calor, acción disolvente, como vehículo, materia prima, energía cinética y energía nuclear.

En adición a estos usos generales del agua, cada industria tiene usos especiales de ella, haciendo el problema de suministro peculiar a cada caso.

Agua Agrícola.- Es el destino que se le dá a las aguas que se emplean en el riego de terreno (el riego puede ser eventual en cantidades inferiores a las demandas de los cultivos o completo y esta agua es requerida para satisfacer todas las necesidades que demanda el cabal desarrollo agrícola), también puede incluirse el agua que consumen o que requieren los diversos tipos de ganado, por ejemplo, en los establecimientos para alojamiento y exportación de estos.

3. *Uso del Agua Agrícola.*

En lo que respecta al uso agrícola, cabe mencionar que el Valle del Mezquital, según datos recopilados, se tienen recursos hidráulicos disponibles para uso agrícola y riego seguro completo mas 43,000 Has. y con riego eventual aproximadamente 10,000 Has., también estudios hechos en esta zona se estima la cantidad de 12,500 M³/Ha./Año. de agua para riego.

Las áreas regadas en el Estado de Hidalgo se distribuyen principalmente en cuatro Distritos de Riego, según se detalla a continuación:

<i>Distrito de Riego</i>	<i>Area de Ha.</i>
<i>Tula</i>	<i>43,047</i>
<i>Metztitlán</i>	<i>4,083</i>
<i>Ixmiquilpan</i>	<i>4,084</i>
<i>Tulancingo</i>	<i>1,216</i>
	<hr/>
<i>S u m a :</i>	<i>52,430 Has.</i>

El principal núcleo de terrenos de riego corresponde al Distrito de Riego del Río Tula, situado en el Valle del Mezquital, este distrito se riega con las aguas negras provenientes de la Ciudad de México, que descargan por los tñeles de Tequixquiac, el Emisor Central que descarga en la Presa Requena y con las aguas blancas aportadas por el Río Tula y sus tributarios.

Dentro de este complejo sistema de riego, también aporta agua para uso agrícola principalmente, las Presas Taxhimay y Requena, con capacidades de 50 y 70 millones de m³ respectivamente.

4. Agua Para Uso Municipal.

El municipio de Tula, según datos es lo siguiente:

1) Las viviendas que disponen de agua entubada dentro de las mismas.

2) Las que disponen de agua entubada fuera de ellas pero dentro del predio, en donde se encuentran ubicadas.

3) Las que disponen de agua entubada de llave pública.

4) Las viviendas sin agua entubada, que son aquellas que no se encuentran en alguna de las situaciones señaladas anteriormente y que carecen totalmente de agua entubada.

— TULA DE ALLENDE —

	Vivienda	Habitantes
1)	2,172	13,386
2)	340	2,157
3)	821	4,886
4)	3,117	18,256
Total	6,450	38,685

O sea, un 51.7% de las viviendas disponen de agua entubada y un 48.3% de las viviendas carecen de agua potable. Del total de habitantes el 52.8% corresponde a los que gozan del uso de agua potable y el 47.2% no tienen acceso a tomas de agua potable, a redes públicas de abastecimiento o de otras fuentes.

El criterio para fijar la dotación a la población completa es de 325 litros hab./día., o sea 0.148 m³/seg., cantidad total requerida para suministrar agua potable para la población antes señalada.

5. Aguas Para Uso Industrial.

El consumo de agua para la industria, es mínimo ya que el desarrollo industrial es limitado en la región. Recientemente se han establecido empresas como la Refinería de Petróleos Mexicanos y la Termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad.

A continuación se estima el consumo actual tanto municipal como industrial:

<i>Refinería FEMEX</i>	<i>0.70 m3/seg.</i>
<i>Termoeléctrica CFE</i>	<i>0.86 m3/seg.</i>
<i>Municipal</i>	<i>0.15 m3/seg.</i>
<i>S u m a :</i>	<i>1.71 m3/seg.</i>

Por lo tanto, las necesidades de agua potable, en la región es de 1.71 m3/seg. y la cantidad controlable de agua superficial en la Presa Taxhimay es de 2.5 m3/seg. Es pertinente aclarar que las dotaciones de agua, pueden modificarse y adaptarse a la demanda real que en el futuro se presente y, no deben considerarse como rígidas.

III.2 ASPECTOS ECONOMICOS.

El predominio de actividades primarias, significa que la población activa de una región se ocupa primordialmente en trabajos agrícolas, pecuarios o extractivos; esto define el

Valle del Mezquital, como productor típico de materias primas que no transforma y que por lo mismo se encuentra en situación desfavorable en las relaciones de producción con otras regiones y sectores económicos más desarrollados. La baja industrialización y actividades secundarias primitivas; complementan el panorama del subdesarrollo de esta área. Con esta situación, el sector secundario está imposibilitado de absorber los excedentes de mano de obra provenientes del primario, generalmente saturado, lo que ocasiona la desocupación o el subempleo y estimula la emigración.

La escasez de fuentes de trabajo pesa sobre la débil economía regional, lo que exige para complementar los ingresos familiares del trabajo de las mujeres y de los hijos, situación que origina altos porcentajes de población subempleada.

Todo lo anterior obliga a la búsqueda de actividades complementarias entre las que se encuentran las manufacturas tradicionales, que por lo general sufren un proceso paulatino de deterioro, en vista de la explotación a que están sujetos los artesanos.

Queda así definido uno de los aspectos de subdesarrollo económico: enorme esfuerzo humano invertido para suplir una muy baja productividad y alcanzarse apenas un nivel de subsistencia en vista de los bajos precios de venta de los productos, sean estos agrícolas o artesanales.

1. Demografía.

El Estado de Hidalgo contaba en 1960 con una población de 995,000 habitantes y de acuerdo al último censo de 1970 cuenta con 1'193,845 habitantes, manifestándose un crecimiento anual del orden de 2.1% inferior a la tasa media anual de crecimiento nacional que es de 3.5% al año.

La densidad de población es actualmente de 56.88 habitantes por Km².

En 1970 el 28% de la población vivía en las áreas urbanas y el 72% en el medio rural. En orden de importancia, los principales centros urbanos del Estado son: Pa-

chuca, Tulancingo, Tula, Mineral del Monte y Actopan. Por su parte la población urbana experimentó un considerable crecimiento aumentando del 20% del total en 1960 al 34% en 1970. Este elevado índice de desplazamiento rural a las localidades urbanas fue especialmente importante en los municipios de Tula, Mixquiahuala e Ixmiquilpan. La población de Tula en 1970 es de 38,685 habitantes.

2. Agricultura.

La actividad agrícola constituye la principal rama económica del Estado y de la zona en estudio, tanto por el número de personas que de ella dependen, como por el valor de la producción que genera.

Las áreas regadas en el Estado de Hidalgo, se distribuyen principalmente en cuatro Distritos de Riego, según se detalla a continuación:

<i>Distrito de Riego</i>	<i>Area en Ha.</i>
<i>Tula</i>	43,047
<i>Metztitlán</i>	4,083
<i>Ixmiquilpan</i>	4,084
<i>Tulancingo</i>	1,216
<i>S u m a :</i>	<u>52,430 Has.</u>

El principal núcleo de terrenos de riego corresponden al Distrito de Riego del Río Tula, situada en el Valle del Mezquital y abarca catorce municipios del Estado de Hidalgo y tres del Estado de México. Este Distrito se riega con las aguas negras provenientes de la Ciudad de México, que descarga por los túneles de Tequixquiac, del Emisor Central y con las aguas blancas aportadas por el Río Tula y sus tributarios.

3. Ganadería.

El desarrollo pecuario es de poca importancia, no obstante que esta región cuenta con suficiente forraje para abastecer a una gran población ganadera. La ganadería exis-

tente es de tipo complementario y de consumo local, tanto de leche como de carne. El ganado criollo de que se dispone es de bajos rendimientos y la ganadería es de tipo extensivo, con predominio de las actividades de cría y levante de ganado vacuno y poco desarrollo de la industria de engorda y de leche.

4. Industria.

El desarrollo industrial se limita en toda la región a pequeños talleres de artesanía ligados a las actividades agrícolas y establecimientos de reparación de artículos manufacturados. Recientemente se han establecido empresas elaboradoras de alimentos en Ixmiquilpan y Mixquiahuala, con un nivel técnico un poco más moderno. No puede dejarse de mencionar la importancia que tiene para la región, la zona industrial de Tula en cuyo lugar se encuentran las fábricas de cemento, la Refinería de PEMEX y la Termoeléctrica de CFE, esto finalmente dará como consecuencia un fuerte impulso económico a la región.

IV.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO.

Para que una agua pueda entrar en la denominación de potable, es indispensable que se encuentre dentro de determinadas condiciones de higiene, puesto que, en la mayoría de los casos el agua tal como se encuentra en la naturaleza contiene muchas impurezas como son: materia disuelta mineral, gases disueltos, turbiedad, color, sabor, olor y microorganismos; que le hacen impropia para el consumo humano.

El objeto del tratamiento es transformar el agua natural o cruda; que generalmente es impropia, en agua inofensiva. El carácter y grado de tratamiento necesario, dependerá de la naturaleza del agua y de su origen, en general las aguas superficiales presentan contaminación y turbiedad.

IV.1. CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS METODOS.

El tratamiento de agua es similar a cualquier proceso químico industrial, es decir, que las condiciones deben estar ajustadas optimamente para obtener los mejores resultados.

El tratamiento probablemente lleva a involucrar uno o más de los procesos básicos, estos para que se lleven a cabo tienen una herramienta importante que son los reactivos químicos. A continuación se describen los procesos básicos:

En la práctica, generalmente se encuentra una variedad de soluciones a cada tipo de problema, pero se necesita hacer un análisis de cada una de ellas para escoger la más efectiva a un costo razonable.

Los métodos de tratamiento de aguas pueden dividirse como sigue:

- 1) *Métodos de tratamiento mecánicos:*
 - *Aereación*
 - *Filtros*

2) *Métodos de tratamiento químicos:*

- *Cal-carbonato en frío*
- *Cal-carbonato en caliente*
- *Zeolitas ciclo Na^+*
- *Zeolitas ciclo H^+*
- *Demineralización*

3) *Métodos de tratamiento combinados:*

- *Autopurificación*
- *Clarificación*

1. *Métodos de Tratamiento Mecánico.*

La forma más simple de un tratamiento mecánico para la separación de sólidos, es por medio de cribas o mallas, estos tienen ciertas limitaciones, ya que cuando se usan cribas muy finas causa n dificultades en la operación; otro medio es el de separación por sedimentación.

Dentro de este método de tratamiento se puede incluir la aereación y la filtración.

Aereación es un proceso que ofrece alternativas. Los usos más frecuentes de la aereación son: eliminar gases indeseables como son dióxido de carbono y ácido sulfúrico; otra alternativa es para la eliminación de fierro y manganeso, estos son oxidados formando hidróxidos insolubles, los cuales precipitan a niveles de pH propios. Para obtener buenos resultados o mejor aprovechamiento se hace difundir burbujas de aire hacia arriba en el tanque de agua.

Sin embargo, los requerimientos de grandes volúmenes de aire limita a flujos menores. Para cantidades mayores de flujo de agua, el aire es forzado hacia arriba por un ventilador que está en el fondo del desgasificador. Este fluye a contracorriente a través de las caídas de agua, el cual es dividido en pequeños flujos por platos horizontales o empaques. El aire y gas agotado del agua es descargado por la parte superior del equipo. Las unidades de tiro forzado son extremadamente eficientes para eliminar gases, y son menos costosos que los deaeradores de vacío para eliminar CO_2 (fig. 1).

Los aereadores de platos de coke son ampliamente usados para aerear aguas que presentan fierro y manganeso, consiste en una serie de platos rellenos de coke, el agua entra por la parte superior a través de una válvula de entrada controlada por un flotador, la cual se infiltra a través del coke y es aereada durante la caída libre sobre los platos. El óxido de fierro precipita sobre el coke al entrar en contacto el agua que contiene fierro y actúa como catalizador para quitarle más fierro (fig. 2).

Para escoger el sistema más adecuado, tengase en mente que cada paso afecta a otros. Así, la aereación podrá necesitarse para eliminar CO_2 producido por el tratamiento ácido del agua de alimentación del calentador para reducir la alcalinidad. Similarmente, la aereación puede ser necesariamente subsecuente, a la eliminación de oxígeno del agua.

Filtros.- La filtración implica el paso del agua a través de una malla o un medio poroso para eliminar

sólidos suspendidos mecánicamente, esto puede hacerse en varios puntos del ciclo de tratamiento, pero es más frecuente después de proceder la clarificación la cual ha precipitado los sólidos disueltos.

Filtro Preliminar.- El agua fluye hacia abajo a través de una o varias capas de arena, grava, antracita, clacita u otras materias ásperas, los sólidos se adhieren al medio, captando el agua clara en el fondo, si al filtro le sigue un tanque de asentamiento, una ligera floculación en el agua de entrada forma un tapete sobre el lecho del filtro, evitando las partículas finamente divididas al arrastre. Algunas veces los filtros se usan solos; estos requieren por separado un coagulante o la alimentación de un polímero. (Figura 1a.).

Los filtros de gravedad convencionales comúnmente operan con agua pretratadas teniendo regularmente baja turbiedad. Las relaciones de flujo van de 81.4 a 162.8 lpm por m² (2 a 4 gpm por ft²).

La limpieza periódica de los lechos filtrantes es esencial para mantener su efectividad. La frecuencia varía con la pérdida de carga permisible a través del filtro, usualmente de 2.4 a 3.6 m. (8 a 12 ft.).

El lavado a contra corriente es de lo más común en los métodos de limpieza. Dependiendo de la temperatura y rangos de velocidad que van de 407 a 814 lpm por m². (10 a 20 gpm. por ft²). El agua de lavado fluye a contra corriente y aplicado a velocidades suficientemente altas para que se expanda el volumen del lecho como mínimo un 50%. Esto permite una acción de agotamiento en el medio sin que esto acarree una pérdida hacia abajo del dren. El lavado es necesario antes de que el filtro retorne a servicio.

Este tipo de filtros es el más adecuado para el presente estudio; aunque hay otros filtros como son:

- a) Filtros a presión, vertical*
- b) Filtros de gravedad sin válvulas*
- c) Filtros a presión, horizontal*
- d) Filtros para flujo ascendente*
- e) Filtros de ultra alta velocidad*
- f) Filtros de acabado*

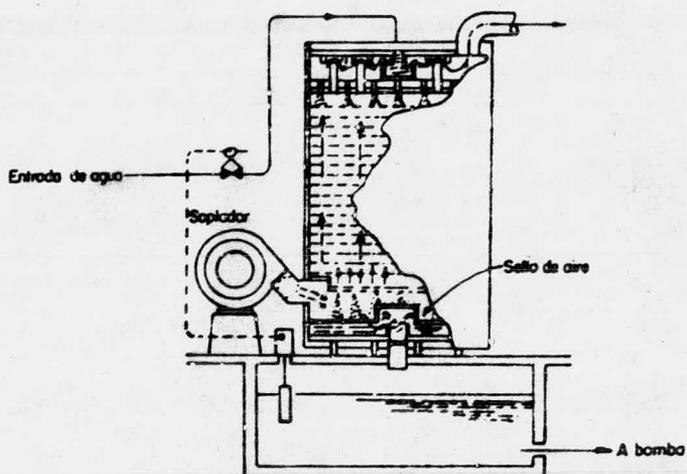


FIG. 1 Equipo de aireación

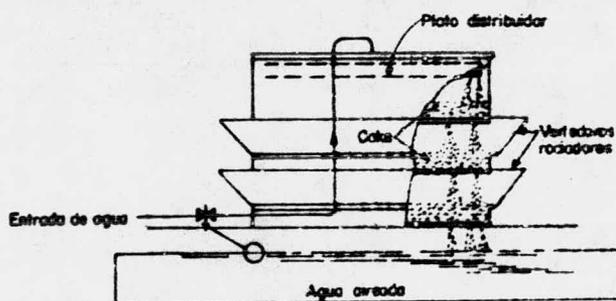


FIG. 2 Equipo de aireación

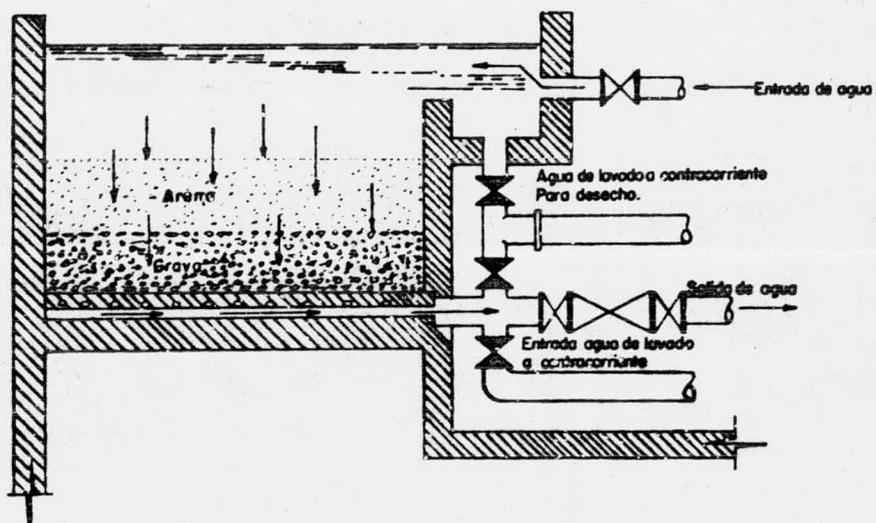


FIG. 1A Filtro

2. Métodos de Tratamiento Químico.

La floculación y la precipitación son los principales métodos, ya sea solos o seguidos de cualquier otro tratamiento. Estos procesos se llevan a cabo de una manera similar al tratamiento de agua de usos conocidos y en la mayoría de los casos en un tipo de equipo similar también, el uso de cada uno de ellos depende la calidad de agua empleada, de la cantidad requerida y de la pureza necesaria.

A continuación se verán a grandes rasgos los principales métodos.

Métodos Cal-Carbonato.

Es de los métodos más conocidos de ablandamiento de aguas, puede usarse en frío o en caliente, siendo el método en caliente mucho más efectivo, debido a la aceleración en las velocidades de reacción que se lleven a cabo, el tiempo de asentamiento es relativamente bajo, obteniéndose una economía en las sustancias químicas empleadas.

a) *Método Cal-Carbonato en Frío:*

Es el más común, este método elimina impurezas por medio de reacciones químicas combinando los reactivos, cal, carbonato de sodio (soda ash) y sosa cáustica causando los efectos siguientes (fig. 3).

1) *La dureza de calcio precipita como carbonato de calcio y la dureza de magnesio como hidróxido de magnesio.*

2) *La alcalinidad del bicarbonato es primero convertida a la forma de carbonato y posteriormente se elimina como carbonato de calcio.*

3) *La sílice sale como un complejo insoluble de sílice-magnesio en cuanto reacciona con hidróxido de magnesio.*

4) *La turbiedad de los sólidos suspendidos y del hidróxido de magnesio y carbonato de calcio que se encuentran como lodos, son eliminados por asentamiento y/o filtración.*

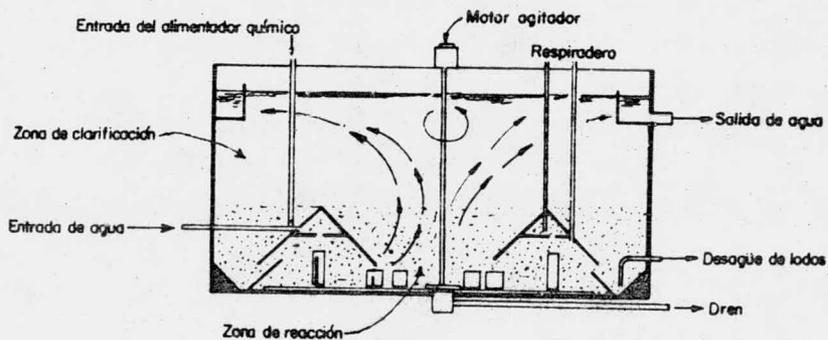
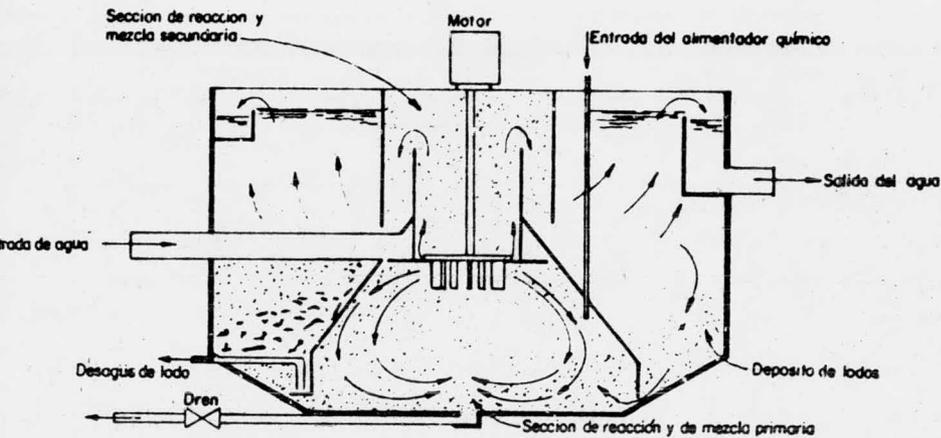


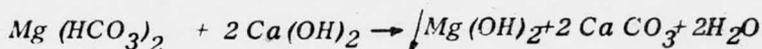
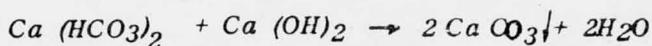
FIG. 3 Proceso de ablandamiento con cal en frío

5) *Elimina la dureza no carbonato.*

Las reacciones ocurren generalmente a temperatura ambiente. El tipo de unidades donde se realiza el tratamiento se muestra en la figura 3, el equipo es por contacto de sólidos donde ocurre una mezcla de agua cruda con los reactivos químicos formando partículas sólidas en la zona inferior del equipo, su operación es continua y requiere un tiempo de retención de 60 a 90 minutos. El equipo indicado en la parte inferior, tiene las mismas funciones que el de arriba, pero con diseño diferente.

La secuencia de reacciones que se realizan al adicionar los reactivos son las siguientes:

La cal o hidróxido de calcio, elimina la dureza temporal produciendo precipitados insolubles de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio.



Como se ve, produce una reducción de sólidos, la cal elimina también parte de la dureza no carbonato.



Sin embargo, se producen sustancias solubles (sulfatos y cloruros de calcio) que deben ser eliminados, ya que estos forman la dureza no carbonato debida al calcio, estas sustancias se eliminan con carbonato de sodio (soda ash).

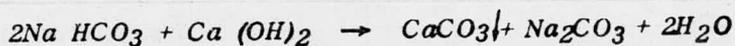


Aquí no hay reducción de sólidos, ya que se producen sales solubles que permanecen en solución.

Por lo tanto, si en el agua por tratar predomina la dureza carbonato, se reducirán notablemente los sólidos.

El hidróxido de magnesio producido es un precipitado gelatinoso que actúa como coagulante, además de tener la propiedad de adsorber la sílice contenida en el agua, por lo que generalmente se añade óxido de magnesio en el tratamiento porque el hidróxido no es suficiente.

Cuando el agua por tratar contiene apreciables cantidades de bicarbonato de sodio, se emplean cal y sulfato de calcio.



Como se ve no es necesario añadir carbonato de sodio ya que este se forma en la reacción.

Para eliminar el exceso de carbonato de sodio se usa sulfato de calcio.



Aquí no hay reducción de sólidos, lo único que se hizo fue cambiar bicarbonato de sodio en sulfato de sodio el cual es menos perjudicial al agua.

A veces se usa hidróxido de sodio en lugar de hidróxido de calcio o carbonato.



El carbonato de sodio es producido como subproducto.

El uso de este método es muy limitado ya que se requiere una relación exacta entre la dureza carbonato y la dureza no carbonato.

Todos los precipitados obtenidos se eliminan por sedimentación y filtración; el tiempo de sedimentación es un factor muy importante para el tratamiento correcto.

b) Método Cal-Carbonato en Caliente:

Este método se usa para tratar agua de alimentación para hervidores de gran capacidad (flujo alto) y baja presión que no requieren agua totalmente desmineralizada. La fuente de calor es vapor vivo o agotado (fig. 4).

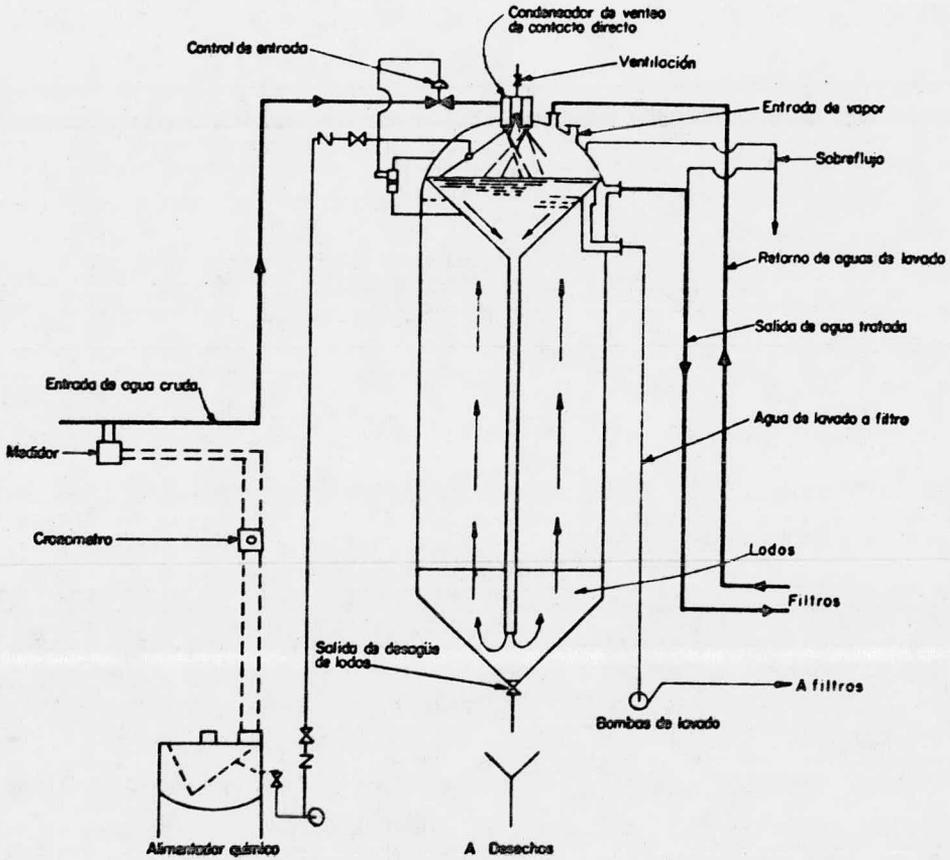


FIG. 4 Proceso de ablandamiento en caliente

El proceso incluye:

- 1) Ablandamiento por eliminación de calcio y magnesio.*
- 2) Eliminación de sílice con sales de magnesio.*
- 3) Reducción de la alcalinidad*
- 4) Eliminación de oxígeno disuelta*
- 5) Eliminación de turbiedad.*

El equipo de proceso en caliente utiliza los mismos reactivos químicos que el proceso en frío, descrito anteriormente. En la figura 4, se muestra el equipo, esta unidad opera generalmente a temperaturas mayores de 100°C. dependiendo de la presión de vapor disponible.

Por calor sale CO₂ y la dosis de productos químicos son más bajas que en el sistema de proceso en frío. El equipo opera con mezcla de vapor, agua cruda y reactivos químicos los cuales se combinan en la zona superior.

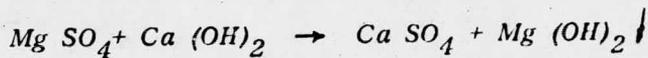
El agua entonces fluye hacia abajo arrastrada a través del colchón de lodos o cieno y descargada a los filtros de antracita. El lodo es colectado en un cono y descargado periódicamente para su limpieza.

c) Uso de la Cal:

Para ciertas aplicaciones, el tratamiento completo cal-carbonato no es necesario ya que únicamente es conveniente reducir la dureza de calcio y la alcalinidad del agua. Bajo estas circunstancias el carbonato de sodio no es necesario, únicamente el uso de cal puede ser suficiente a un costo más económico.

Asimismo, es conveniente y recomendable el tratamiento en frío con ayuda de un coagulante. El grado al cual la reducción de dureza puede ser obtenida solo con cal, depende del contenido de bicarbonato de calcio que haya en el agua.

La dureza no carbonato reacciona con la cal para producir sales insolubles de calcio, que se pueden reducir únicamente con la adición de carbonato de sodio.



El sulfato de calcio es más soluble que el carbonato de calcio y aunque representa la dureza no carbonato, no forma incrustaciones salvo a elevadas temperaturas o a alto grado de concentración.

d) Zeolitas Ciclo Sodio:

Las zeolitas son sólidos que tienen la propiedad de intercambiar iones con las soluciones que pasan a través de ellos. (Fig. 5). X

Pueden ser naturales o artificiales, los naturales son generalmente sílico aluminatos de sodio y tienen el inconveniente de contaminar el agua con sílice proveniente de la

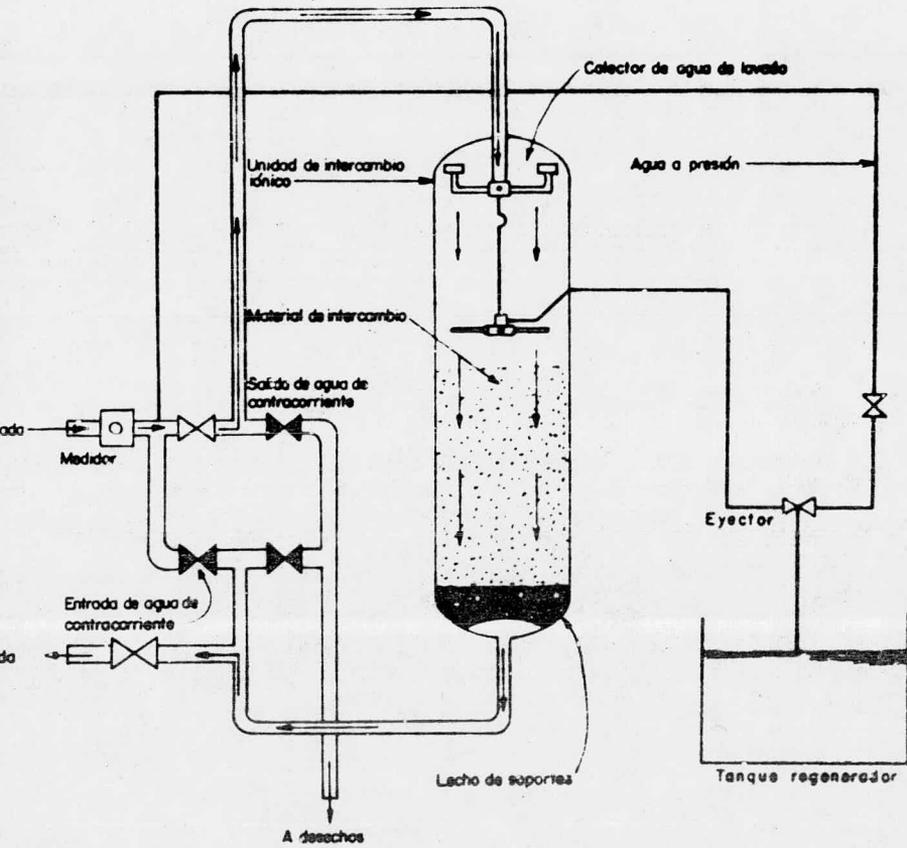
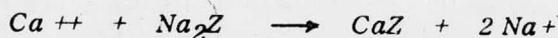


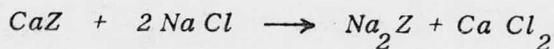
FIG. 5 Unidad típica de Intercambiador iónico

misma zeolita; las artificiales pueden tener como base carbones sulfonados, resinas fenólicas o poliestirénicas, poseen mayor capacidad de intercambio que las naturales, aunque su costo por unidad de volúmen es mayor.

Las zeolitas ciclo sodio eliminan prácticamente toda dureza, ya que intercambian iones sodio por iones calcio y magnesio, que son los que constituyen la dureza.



Las zeolitas tienen cierta capacidad de intercambio, cuando se agotan sus iones sodio; ya no se eliminan los iones calcio y magnesio, por lo que es preciso regenerarlas; para esto, se usa una solución saturada de cloruro de sodio.



Sin embargo no es del todo económica, cuando el agua por tratar presenta una turbidez mayor de 10 ppm., el lecho se tapa rápidamente y disminuye considerablemente la efi-

ciencia. Por consiguiente, si el agua por tratar presenta una turbidez mayor de 10 ppm., al coagularse y filtrarse bien, además debe eliminarse previamente el fierro ya que este maltrata la zeolita, por lo que considerablemente aumenta el costo del equipo.

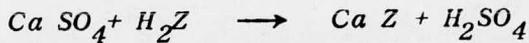
A veces se prefiere el método calcicarbonato, ya que la turbidez y la presencia de fierro no aumentan el costo del equipo. Otra de sus desventajas es que la dureza es eliminada sin haber reducción de alcalinidad ni de sólidos totales, el calcio es eliminado pero se reemplaza con dos iones sodio que pesan un poco más que el calcio original, por lo tanto se aumentan los sólidos.

Como el bióxido de carbono y el oxígeno no se eliminan, el efluente es muy corrosivo, a no ser que se ajuste correctamente el pH, se lleve a cabo una correcta deaeración o se añadan buenos inhibidores para la corrosión.

e) Zeolitas Ciclo Hidrógeno:

Estas zeolitas intercambian iones hidrógeno por cationes como calcio, magnesio y sodio; para re-

generarlas se usa ácido sulfúrico (debido a su bajo costo), regeneradas con cloruro de sodio operan como zeolitas ciclo sodio; cuando el agua contiene calcio, magnesio, el sodio pasa a través de estas zeolitas, pierden estos iones y los reemplaza por iones hidrógeno, convirtiendo a los bicarbonatos y cloruros en sus respectivos ácidos.



El proceso de regeneración es el siguiente:



Todos los bicarbonatos, convertidos en ácido carbónico son eliminados por aereación o deaereación, por lo que también eliminamos la alcalinidad debida al bicarbonato; además de disminuir el número de sólidos. En cambio los ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico formados, deben ser neutralizados para evitar graves corrosiones en el sistema.

Existen tres métodos principales para la neutralización de estos ácidos:

- 1) *Operar zeolitas ciclo Na^+ y ciclo H^+ en paralelo.*

Este método consiste en tratar determinada cantidad de agua cruda con zeolita ciclo sodio y el resto con zeolita ciclo hidrógeno y mezclando los dos efluentes, para obtener la alcalinidad deseada.

Para calcular la cantidad de agua que debe tratarse con zeolita ciclo hidrógeno, se usa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de agua tratada con zeolita ciclo } \text{H}^+ = 100 \frac{A1 - A2}{A1 + A3}$$

A1 = Alcalinidad del agua cruda

A2 = Alcalinidad deseada

A3 = Acidéz libre de agua cruda (depende de la cantidad de sulfatos, cloruros y nitratos contenidos en ella).

- 2) *Neutralizar la acidéz del efluente de la zeolita ciclo H^+ con reactivos. Se usa sosa con carbonato de*

sodio, este método es económico, cuando la acidez es baja o cuando la cantidad de agua deseada es pequeña. Para calcular la cantidad necesaria de reactivos, se suma a la cantidad necesaria para neutralizar la acidez libre, el valor necesario para obtener la alcalinidad deseada.

3) *Neutralizar la acidez del efluente de la zeolita ciclo H^+ con agua cruda.*

Este método consiste en tratar una parte del agua con la zeolita y mezclarla con agua sin tratar, para neutralizar la acidez; al hacer esto, la dureza aumenta, por lo que sólo puede usarse en agua de baja dureza y con elevadas cantidades de bicarbonato de sodio.

Este método de zeolitas ciclo hidrógeno es costoso, ya que requiere equipo ácido resistente, no elimina el oxígeno disuelto y el agua por tratar debe estar libre de fierro y de turbidez.

f) Demineralización:

Este método elimina todas las sales minerales del agua con zeolitas; todas las sustancias que se ionizan en el agua, pueden ser eliminadas.

Demineralización y destilación, son los métodos más comunes para producir grandes cantidades de agua con bajo contenido de sólidos, siendo generalmente la demineralización un método más económico.

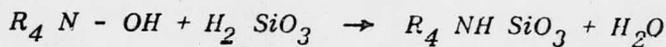
Antes del descubrimiento de las resinas fuertemente básicas, este método no eliminaba la sílice contenida en el agua, por lo que tenía poca aplicación, ya que las calderas de alta presión requieren casi agua destilada.

Con las resinas débilmente básicas, se usaban fluoruros para eliminar la sílice, pero estos ocasionaban graves problemas. La demineralización se lleva a cabo con el uso de dos tipos de zeolitas.

El cambiador de cationes cambia estos por iones hidrógeno (zeolita ciclo H^+), generalmente se usan carbones sulfatados para esta operación.



Los cambiadores de aniones son resinas orgánicas con radicales amino, las débilmente básicas absorben sulfatos, cloruros, nitratos, pero no absorben sílice ni bióxido de carbono. Las fuertemente básicas si eliminan estas substancias, ya que eliminan los aniones de ácidos fuertes y débiles.



Se cree que en la parte superior del cambiador se absorben los ácidos fuertes y en la parte inferior la sílice.

La pureza del agua demineralizada o destilada se expresa frecuentemente en términos de resistencia específica, 1 microohm de resistencia específica indica normalmente un contenido de sólidos disueltos de 0.5 a 0.6 ppm. El agua completamente pura tiene una resistencia específica de 0.04 microohms, debido a pequeñas cantidades de iones hidrógeno y oxhidrilo; agua de esta pureza no puede ser producida comercialmente.

Si el agua por tratar contiene poca cantidad de bicarbonatos, se usan simplemente el cambiador de cationes y el de aniones, si contiene grandes cantidades de bicarbonatos, es conveniente poner como paso intermedio entre los dos cambiadores, un aereador para eliminar el bióxido de carbono del agua; si este aereador trabaja con vacío, se elimina también el oxígeno disuelto.

Con aguas conteniendo grandes cantidades de sulfato y cloruros, es más económico poner después del cambiador de cationes, un cambiador de aniones debilmente

básico, luego un aereador y después el cambiador de aniones fuertemente básico. Esto dá una considerable economía en reactivos ya que el cambiador debilmente básico, puede regenerarse con la sosa proveniente del regenerado del fuertemente básico o con carbonato de sodio que es más barato que la sosa.

Existen también en un solo cambiador, las dos resinas (aniónica y catiónica), las cuales tienen diferente densidad, por lo que durante el lavado se separan, siendo necesario después del regenerado el volverlas a mezclar con aire.

Este método es poco usado debido a los problemas causados por el regenerado en el mismo lecho con sosa y con ácido sulfúrico.

Cuando el agua contiene muchos sólidos, es más económico la evaporación, además, si contiene substancias orgánicas, el agua debe ser previamente coagulada, clorada y filtrada, ya que las resinas no eliminan las substancias no ionizadas.

3. *Métodos de Tratamiento Combinados.*

Principalmente en este método puede clasificarse la autpurificación y clarificación, éste último es un proceso donde se presenta la coagulación, floculación y sedimentación y algunas veces aereadores, suavizadores o cloradores; en el proceso de coagulación se utilizan productos químicos para ayudar a la floculación y formación de partículas que posteriormente se sedimentan y las cuales son arrastradas por un medio mecánico.

Autpurificación.- La naturaleza provee cierto grado de autpurificación a todas las aguas que hayan sido corrompidas o contaminadas por la introducción de desechos, ya sean debidos a escurrimientos del suelo, aguas negras o desperdicios industriales. La velocidad con que se verifica este proceso depende de la naturaleza y cantidad del material contaminante, así como de las condiciones y características físicas, químicas y biológicas del agua misma.

Si la contaminación es moderada y el oxígeno disuelto que contenga el agua es suficiente, no se producirán olores. Esta condición se alcanza cuando el oxígeno se toma de la atmósfera en mayor proporción que la consumida por el material contaminante, evidentemente, la presencia de caídas de agua, o corrientes rápidas, ayudará a obtener un suministro suficiente de oxígeno, pero debe hacerse notar, sin embargo, que las cantidades de oxígeno mayores a las adecuadas no acelerarán el proceso natural de purificación, y que si una corriente fluye a gran velocidad, la distancia que tiene que recorrer para llevar a cabo las transformaciones que se requieran serán proporcionalmente mayores.

Si por otro lado la contaminación es intensa, pueden llegarse a condiciones indeseables, por que el oxígeno se consume en mayores cantidades que las logradas mediante la aereación. Esto dá por resultado una producción de olores y gases, y que el agua adquiera una apariencia lechosa, gris o negra.

Cabe mencionar, que las variaciones de la densidad que experimenta el agua; son causadas por la diferencia entre las temperaturas de las capas de agua localizadas a diversas profundidades en el lago o embalse, también el mezclado de los efluentes al lago o embalse que se verifica continuamente, y los cambios repentinos de temperatura ocurren en toda la masa del agua.

Frecuentemente, la agitación de las aguas hacen que aparezcan sabores y olores en el agua de abastecimiento. Esto puede deberse a cambios de concentración o diversos tipos de microorganismos o a las variaciones en la calidad física o química del agua. En general, la autopurificación logra eliminar la materia orgánica, dependiendo del grado de eliminación de la dilución, de la efectividad de la reaeración, de la sedimentación y principalmente del tiempo disponible para que se verifiquen las acciones bioquímicas.

Clarificación.- El proceso de eliminación de la turbiedad y sedimentos es definido como clarificación. Nor-

malmente, esto constituye el primer paso en el pretratamiento que es esencialmente sin color y completamente clara. El tiempo de aireación es frecuentemente integrada con la clarificación, aunque algunos ponen los sistemas separados. También, el ablandamiento de cal puede ser combinado con la clarificación como una simple unidad.

El objetivo de la coagulación es reunir la materia en suspensión coloidal o finamente dividida en partículas más grandes para acelerar el asentamiento o eliminarlas por filtración. Las partículas coloidales o en suspensión que existen en las aguas naturales, normalmente son del tamaño de 0.1 a 10 micras. Estas aglomeraciones resisten debido a la presencia de grupos de cargas ionizables similares adsorbidas sobre sus superficies, lo cual crea fuerzas repelentes. Para lograr la coagulación, estas cargas deben neutralizarse parcialmente.

Las partículas superficiales usualmente son de cargas negativas. Esto a su vez, atrae una capa compacta de iones cargadas opuestamente muy próximas, y una capa más difusa

de cargas contrarias las que aleja un poco. La combinación de las 2 capas forman un potencial electrostático "Potencial Zeta" alrededor de la partícula, el cual sirve como una barrera a otras partículas. Esta barrera deberá ser vencida si las partículas están aglomeradas.

La adición de coagulantes químicos es el instrumento para lograr lo anterior. Este involucra la introducción de iones cargados positivamente de metales pesados, tales como el aluminio y fierro, la valencia de estos metales ionizados es mayor que la del ión sodio. Por lo cual, un ión aluminio forma un enlace con tres iones hidróxido OH^- . El resultado es que un ión aluminio desplaza tres iones negativos de la capa difusa, reduce el tamaño de la capa y el potencial de barrera. Durante esta fase, es esencial agitar el fluido fuertemente. Únicamente por este camino pueden los iones de metales pesados romperse y encerrar alrededor de la partícula el ión intercambiado.

Una vez hecho lo anterior, el siguiente paso es la floculación. La floculación incrementa el tamaño de la partícula.

la finamente dividida y suspendida. Esto se realiza acompañado por un suave movimiento del agua, mejorando el contacto entre las partículas aglomeradas, si se adiciona un polímero de alto peso molecular puede cambiar el proceso; las moléculas de cadena larga adsorben las partículas de la superficie, físicamente empujan a las masas más pesadas para un rápido asentamiento. El tiempo para realizar este proceso de clarificación no es tan esencial y además se efectúan en equipos pequeños.

Los compuestos de aluminio, especialmente sulfato de aluminio y aluminato de sodio son los reactivos más ampliamente usados como coagulantes. Ellos precipitan flóculos de relativa dureza, el flóculo de hidróxido de aluminio es pesado y notablemente capaz de atrapar los sólidos suspendidos y eliminarlos del agua.

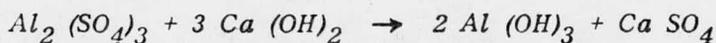
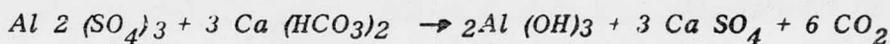
En general, los coagulantes añadidos ayudan a producir un flóculo grande y pesado sobre amplios rangos de pH con gran capacidad para eliminar rápidamente la turbiedad.

El reactivo de sulfato de aluminio en presencia de alcális solubles forma hidróxido de aluminio.

Este compuesto es prácticamente insoluble dentro del rango 5.7 a 7.5.

La disolución en los rangos de pH menores de 5.7 (se forman iones Al^{+3}) y mayores de 7.5 (se forman iones AlO_3^{-3}) por lo cual, lo más común es que los compuestos insolubles se forman mejor en la zona de pH entre los límites anteriores.

Cuando hay alcalinidad natural en el agua, el sulfato de aluminio se hidroliza a hidróxido de aluminio, liberando ácido sulfúrico. Estos reactivos con la alcalinidad forman sulfato de calcio y dióxido de carbono, en forma ilustrativa las reacciones pueden ser como sigue:



Por cada ppm. adicionado de sulfato de aluminio se consume aproximadamente 0.5 ppm. de la alcalinidad natural, reduciendo así el nivel de pH, para neutralizar esto y asegurar la coagulación, la cal o carbonato de sodio son adicionados en la proporción de 0.4 ppm. de cal (90% de hidróxido de calcio) ó 0.5 ppm. de carbonato de sodio por cada ppm. de sulfato de aluminio. La cantidad añadida es controlada para dar mejores valores de pH en el agua.

PRODUCTOS QUIMICOS USADOS EN LA COAGULACION.

<u>Producto Químico</u>	<u>Uso en el agua por clarificar</u>
Cloro, Cl ₂	- Desinfección; limo, algas, control sabor y olor; oxidación de compuestos orgánicos.
Dióxido de Cloro, Cl O ₂	- Desinfección; control de sabor, olor y oxidación de compuestos orgánicos.
Permanganato de potasio KMnO ₄	- Control de limo y algas; oxidación de compuestos orgánicos.
Alumbre de amonio Al ₂ (SO ₄) ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄ 24 H ₂ O	- Coagulación.
Sulfato de aluminio Na ₂ AL ₂ O ₄	- Coagulación.
Silicato de sodio Na ₂ SiO ₃	- Coagulación (también control de la corrosión).
Sulfato férrico, Fe ₂ (SO ₄) ₃	- Coagulación.
Sulfato ferroso, Fe SO ₄ · 7H ₂ O	- Coagulación.
Cloruro férrico, Fe Cl ₃	- Coagulación.
Hidróxido de calcio, Ca (OH) ₂	- Control pH, reduce dureza
Polímeros orgánicos (polielectrolitos)	- Coagulantes o ayudante a la coagulación.
Magnesia, MgO	- Coagulante (pH arriba 9.5).
Bentonita (arcillas)	- Ayuda a la coagulación.

La cantidad de sulfato de aluminio, necesaria para una agua bajo ciertas condiciones dadas, es casi imposible de predecir. Únicamente por métodos prácticos como el llamado prueba de jarras, en la cual se utiliza el agua bajo condiciones de operación normales hasta encontrar la mejor dosis en dichos ensayos. Esta cantidad variará según; el tamaño y cantidad de la materia en suspensión, tiempo de retención con antelación a la coagulación, temperatura del agua, cantidad de mezcla, etc.

Por otra parte, el aluminato de sodio que es ligeramente alcalino, puede ser usado en compañía de la alúmina o sulfato de aluminio para bajar o disminuir el pH de coagulación. Pero frecuentemente se emplea combinado con cal o carbonato de sodio en ablandamiento por coagulación a pH altos, principalmente cuando se requiere una baja turbidez del efluente. El aluminato de sodio reacciona con el bicarbonato de calcio, precipitando carbonato de calcio y produciendo flóculos de hidróxido de aluminio. También reacciona con el magnesio, precipitando aluminato de magnesio e hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$.

Estos flóculos envuelven partículas de ambos precipitados como son carbonatos de calcio y materia en suspensión, lo cual facilita el asentamiento y la eliminación.

No existen reglas simples para guiarse en la selección del coagulante, adición de la cantidad de coagulante, dosis de coagulante o rangos de pH. También depende mucho del análisis del agua, temperatura del agua, tipo de equipo para la clarificación, condiciones de carga y uso que se le de al agua tratada. Pero con unas cuantas pruebas sencillas manejadas bajo condiciones de operación normales, el punto óptimo será el camino que haya dado mejor resultado y al más bajo costo de tratamiento.

La figura 6, muestra piezas individuales de equipos de clarificación, los cuales pueden modificarse y/o combinarse para mayor sencillez o economía. Otra alternativa es considerar la floculación, aún cuando, el objetivo principal del sistema de clarificación es producir un flóculo grande, el cual puede ser sedimentado en un depósito, algunos otros no van más allá de la formación de un flóculo más fino, el cual puede ser eliminado por un sistema de filtración apropiado, como una fase subsecuente.

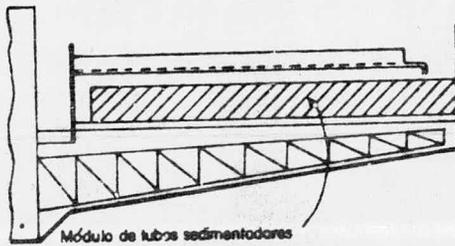
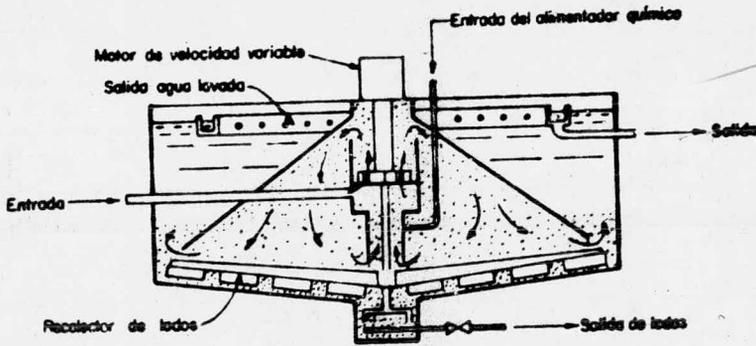


FIG. 6 Equipo de clarificación

V.- MATERIALES Y METODOS.

Para que una agua pueda entrar en la denominación de potable, es indispensable que se encuentre dentro de determinadas normas de salubridad, puesto que, en la mayoría de los casos el agua tal como se encuentra en la naturaleza contiene muchas impu- rezas que la hacen impropia para el consumo humano.

Una forma de anticipar la probable composición de las muestras en preparación para su análisis y para explicar los re- sultados analíticos obtenidos en el laboratorio, consiste en compe- netrarse con las condiciones en que se encuentra en la naturaleza, el agua en estudio. El muestreo nos lleva a conocer las propie- dades del agua y, en caso necesario, saber si se pueden modifi- car.

Para este fin, las muestras fueron llevadas al labora- torio y analizadas por el método del "Standard Methods of Exami- nation of Water and Wastewater", usando las soluciones químicas, equipo necesario, técnicas instrumentales, procedimiento analítico para cada una de las determinaciones presentes en el agua, y por último un método de reporte de los resultados.

En el presente trabajo se utilizó el agua superficial de la presa de Taxhimay. Las muestras fueron tomadas a la salida del vertedor durante la época de lluvias y a la salida de la obra de toma en tiempo de estiaje.

Tan pronto como se recibió la muestra, se le determinó inmediatamente los siguientes análisis: físico-químico y bacteriológicos y posteriormente se le hizo pruebas de clarificación.

V.1. MUESTREO.

Es bien conocido que las aguas en general no son completamente homogéneas cuando se encuentran almacenadas, y por lo tanto para obtener una muestra representativa, se tienen que efectuar técnicas apropiadas.

Además el muestreo frecuente permite establecer valores medios y su variación, así como el grado de fluctuaciones en la calidad del agua. El muestreo bien dirigido y confiable, asegura la validez de los resultados analíticos. Para este fin, las muestras deberán representar verdaderamente a la masa de agua o de aguas residuales que se toman, y no debe haber cambios significativos en las muestras tomadas, entre los tiempos de muestreo y de análisis. Se puede necesitar equipo especial de muestreo si las condiciones lo ameritan, las muestras tomadas al azar pueden proporcionar información incompleta y errónea.

Las observaciones meteorológicas e hidrológicas, como son temperatura, registro de tormentas, escurrimientos,

sequías e inundaciones anteriores, también son esenciales en el muestreo. Se observaron que las áreas de captación que abastecen a la Presa de Taxhimay son las siguientes:

a) Una rama occidental que drena los terrenos boscosos de las tierras altas, carente de habitantes, situado sobre pequeñas zonas agrícolas, a esta rama se le conoce como río San Luis de las Peras y que tiene como fin abastecer a la presa en estudio.

b) Otra es una serie de ramales que drenan los montes cercanos a la Presa, y que únicamente llevan agua en época de lluvias.

De estas dos ramas de captación, se tomó como principal a la del río San Luis de las Peras, ya que trae agua durante todo el año. Por lo tanto, se tomaron muestras de agua en un punto situado cercanamente al vaso de la Presa Taxhimay.

Por otro lado, las muestras de agua tomadas en la Presa Taxhimay fueron en un punto cercano a la fu-

tura planta de clarificación, este punto se localiza a la salida de la obra de toma y cerca del vertedor en época de lluvias. La frecuencia de los muestreos fué cada mes aproximadamente.

El equipo, materiales y formas de identificación de las muestras, fue bastante simple, garrafrones de 20 litros previamente etiquetados anotando fecha, lugar, hora y nombre del muestreador. Esta técnica se realizó para las muestras tomadas en la Presa, ya que se requería esta cantidad para las pruebas de clarificación. En cambio, para el análisis del agua del río San Luis de las Peras, únicamente se necesitó un litro de muestra.

A todas las muestras se les determinó sus características químicas, físicas, bacteriológicas y finalmente pruebas de clarificación.



V.2. ANALISIS FISICOS.

Los análisis físicos miden y registran aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos, no es necesario describir las técnicas y materiales empleados, ya que dichas técnicas son las indicadas por el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (4).

Por medio de estos análisis se determinó:

Turbiedad

Temperatura

Color

Olor

Sabor

Sólidos Totales

Sólidos Disueltos

Sólidos Suspendidos

V.3. ANALISIS QUIMICOS.

Por medio de estos análisis se determina el contenido de sustancias químicas existentes en el agua. Estas sustancias pueden provenir de materia orgánica en descomposición como es el caso de nitratos, amoníaco y nitritos, o bien de las sustancias minerales disueltas en el agua. Estas materias minerales y orgánicas afectan la calidad del agua, también proporciona datos acerca de contaminaciones o mostrando las variaciones ocasionadas por el tratamiento, lo cual es indispensable para controlar un proceso de tratamiento de agua.

En los análisis del agua siempre son determinados los cationes y aniones como tales, ya que es imposible conocer la forma en que se encuentran combinados. El análisis del agua se puede reportar en tres maneras distintas:

- a) Forma iónica
- b) En forma de las combinaciones probables

c) *Ex. términos de la dureza y alcalinidad expresadas como carbonato de calcio.*

No es necesario describir los métodos de análisis, ya que las técnicas, reactivos necesarios y materiales empleados son los recomendados por el "Standard Methods" (4).

El análisis químico del agua comprendió las siguientes determinaciones, divididas en 3 grandes grupos:

1²) Determinaciones volumétricas:

Alcalinidad (Bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos), dióxido de carbono, dureza total, calcio, magnesio cloruros, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno.

2²) Determinaciones colorimétricas:

Sodio, potasio, litio, fierro, manganeso, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nitroso, nitrógeno nítrico, sulfato, sílice, fosfatos y aluminio.

3²) Determinaciones potenciométricas:

pH.

V.4. ANALISIS BACTERIOLOGICO.

El análisis bacteriológico consistió en 2 partes muy importantes: Organismos totales (recuento normal en placa) y coliformes totales.

V.4.1. Organismos Totales.

Los aparatos de laboratorio y materiales utilizados en la determinación del número total de organismos, son los siguientes:

- 1) Incubadora.- Equipada con dispositivos mecánicos para la circulación del aire; de termómetro exacto para mantener una temperatura constante de 34 a 36°C.*
- 2) Estufa esterilizadora de aire caliente para operar a 170°C.*
- 3) Autoclave.- Con termómetro y manómetro exactos.*

- 4) *Contador de colonias con iluminación.*
- 5) *Potenciómetro.*
- 6) *Balanza granataria tipo Harvard o similar.*
- 7) *Matraces Erlenmeyer de 125 ml. de cristal pyrex, para preparación de medios.*
- 8) *Pipetas de cristal, de 1 ml. de capacidad.*
- 9) *Probetas de 500 y 1000 ml.*
- 10) *Vasos de precipitados de 500 a 100 ml.*
- 11) *Cajas de Petri de 100 mm. de diámetro y 15 mm. de altura de cristal Pyrex o bien de plástico desechable.*

Reactivos.

- 1) *Agua destilada.- Desmineralizada y desprovista de substancias bactericidas ó inhibidoras.*
- 2) *Extracto de carne de cualquier marca. No debe usarse infusión de carne.*
- 3) *Peptona.*
- 4) *Azúcares químicamente puros.*
- 5) *Agar de calidad bacteriológica.*

Preparación del Agar.

Al agar con triptona, glucosa y extracto de levadura se le denomina también agar deshidratado para enumeración de colonias. Y se prepara de la manera siguiente:

A un Litro de Agua Destilada se Agrega:

<i>Peptona-Triptona.....</i>	<i>5 g.</i>
<i>Extracto de levadura.....</i>	<i>2.5 g.</i>
<i>Glucosa (dextrosa).....</i>	<i>1.0 g.</i>
<i>Agar.....</i>	<i>15.0 g.</i>

Se ajusta el pH a 7.

Este medio es puesto en baño maría, se calienta y se agita la solución hasta disolución completa de los componentes sólidos. Este medio se vierte en cantidades iguales en cada una de las 10 matracas, tapando éstas con algodón.

Se esterilizan en un autoclave durante 15 minutos a una presión de 1 Kg/cm² (15 Lbs.) y a 121°C de temperatura.

Posteriormente son retirados de la autoclave, en cuanto la presión vuelva a cero. El tiempo total dentro de la autoclave, incluyendo el calentamiento, la esterilización y el enfriamiento, no debe exceder de 40 minutos. Finalmente se guarda en refrigerador, al utilizarse deben estar líquidos y a una temperatura de 43 a 45° y completamente estériles.

Preparación del Agua Amortiguadora para Diluciones:

1) Preparación de la solución madre amortiguadora de fosfato.

En 500 ml. de agua destilada se disuelven 34 g. de KH_2PO_4 (Fosfato Monobásico), se ajusta el pH a 7.2 usando NaOH 1 N., por último se diluye a un litro con agua destilada.

2) Dilución de agua amortiguadora de fosfato.

Se agregan 125 ml. de la solución madre a un litro de agua destilada. (Esta es la solución que se usa para diluir las muestras). Esterilizándola enseguida a $121^{\circ}C$ y las 6.8 kg. (15 lbs.) de presión durante 15 minutos.

Método.

Se agita 25 veces el frasco con la muestra original, con la finalidad de obtener una muestra homogénea, a continuación se toma con pipeta estéril la cantidad requerida para hacer la dilución deseada, ésta operación se efectúa en una cámara de aislamiento, para tener una absoluta esterilidad ambiental.

En cajas de petri estériles y libres de agentes tóxicos o inhibidores, se vierte el volumen deseado de muestra o de la dilución requerida, se agregan a continuación 10 ml. del medio de agar fundido (enfriado de 43 a 45°C), el medio y la muestra se deben mezclar perfectamente y distribuir de modo uniforme. No debe transcurrir más de 20 minutos entre la siembra de la muestra y el vertido del medio.

Se deja endurecer el medio, colocando las cajas de petri, en el incubador cuya temperatura se mantendrá a 35°C por 24 horas, o bien a 20°C por 48 horas. Las cajas de petri se invierten durante la incubación.

Después de transcurrido el tiempo, se cuentan el número de colonias que hayan aparecido sobre o dentro del medio de agar usando un contador de colonias con iluminación. Si la cantidad de colonias es demasiado numerosa para que se pueda contar, estímesese el número de ellas contando una fracción de la placa, ya sea una cuarta parte o una décima parte, y multiplíquese ese número por el factor apropiado.

Los resultados se informan como recuento en placa de agar por ml. a los 35°C ó bien a 20°C.

V.4.2. *Coliformes Totales.*

Materiales.

Además del que se requiere para el recuento normal en placa, se necesita lo siguiente:

- a) 72 Tubos de fermentación, para volúmenes de muestra de 10 ml. tubos de cultivo sin labio, de 175 x 22 mm.*
- b) 144 Tubos de cultivo sin labio, de 75 x 10 mm. para usarse como tubos interiores.*
- c) 72 Tubos de fermentación para volúmenes de muestra de 1 ml., tubos de cultivo sin labio de 150 x 18 mm.*
- d) 36 Pipetas volumétricas de 10 ml.*

Reactivos.

1) *Caldo Lactosado.*- A un litro de agua destilada se agregan:

<i>Extracto de carne.....</i>	6 g.
<i>Bacto-Peptona.....</i>	10 g.
<i>Bacto-Lactosa.....</i>	10 g.

Se ajustan el pH de 6.4 a 7.0, de preferencia 6.9, este caldo tiene una concentración de 26 g/1000 ml., se distribuye en proporciones de 10 ml. y se colocan en los tubos de fermentación y se esterilizan a 121°C y 1 Kg/cm² (15 lbs.) de presión por 15 minutos, conservando finalmente los tubos en refrigeración.

2) *Caldo Lactosado Bilis Verde Brillante.*- En 500 ml. de agua destilada se disuelven:

<i>Peptona.....</i>	10 g.
<i>Lactosa.....</i>	10 g.

A ésto se le agrega:

Bilis de buey deshidratada 20 g.-

En 200 ml. de agua destilada y a un pH de 7.0 a 7.5. Todo lo anterior se afora a 975 ml. con agua destilada y se ajusta el pH a 7.4.

A los 975 ml. de la solución anterior se le agregan 13.3 ml. de la solución acuosa de verde brillante al 0.1%, aforando a un litro con agua destilada. Se distribuye en tubos de ensaye y tubos de durham, se esterilizan a 121°C y 1 Kg/cm² (15 lbs.) de presión por 15 minutos.

Método.

Prueba Presuntiva.

Los tubos de durham deben estar completamente llenos de medio y libres de cualquier burbuja y previamente esterilizados incubándolos a 35°C por 24 horas.

Para la siembra e incubación se utiliza agua amortiguada por diluciones (la misma que para organismos totales) se siembran diluciones de la muestra que pueden ser:

10 ml. y 0.1 ml. según sea el caso o bien, cantidades directas de la muestra, dependiendo del origen de la muestra. La siembra se hace bajo condiciones de esterilidad, generalmente se emplean series de 5 ó 3 tubos por cada dilución, hasta un total de 15 y 9 respectivamente. La incubación se hace de 24 horas a 48 horas a 35°C.

La producción de gas desalojará un volumen del medio contenido en el tubo Durham; esto es una característica positiva de la prueba; agitando levemente, se observa la liberación de gas en forma de pequeñas burbujas.

Los resultados se expresan en forma de quebrado en donde el numerador es el número total de tubos positivos y el denominador el total de tubos empleados en cada dilución, leyendo posteriormente en el cuadro de los métodos estándar el NMP (el número más probable de coliformes).

Prueba Confirmativa.

Se inicia con el desarrollo de todas las etapas de la prueba presuntiva al finalizar éstas, se continúa con la resiembra de material obtenido de tubos positivos (Tubos con gas).

Para la siembra o incubación se utilizó el medio caldo lactosado bilis verde brillante, con una asa se siembra material procedente de cada uno de los tubos positivos. Se incuba de 24 a 48 horas a 35°C. La lectura de ésta prueba se interpreta como prueba confirmada positiva a la formación de gas, y así se registra.

Cabe hacer notar que la producción de gas en el caldo lactosado no indica la presencia de bacterias del grupo coliforme, porque puede haber otras bacterias presentes que fermenten la lactosa. Si el cultivo de los tubos con caldo lactosado que muestran gases, es transferido al caldo con bilis y verde brillante, las bacterias que no sean coliformes son inhibidas por la bilis y el verde brillante; por lo tanto, cualquier gas que se produzca en éste medio puede atribuirse a la presencia de organismos del grupo coliforme.

V.5. PRUEBA DE VASOS.

El equipo empleado en la prueba de vasos para la clarificación, floculación y sedimentación del agua de la Presa Taxhimay; es el siguiente:

Agitador múltiple, con motor universal G.E. de 115 volts, de 50 Hz AC. 1/30 y de 5000 rpm. Modelo Phipps and Sird Inc. Richmond, V.A. Este agitador trabaja con velocidades que van de 0 a 100 rpm. Las paletas agitadoras son de material resistente a la corrosión siendo un total de 6 paletas colocadas en serie, las cuales son de la misma configuración y tamaño.

Reactivos:

a) *Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ se preparó una solución que contiene la siguiente concentración; 10 g./l. (1 ml. = 40 mg).*

b) *Hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$. La concentración de la solución fué la siguiente: 10 g./l. (1ml. = 10 mg).*

c) Sulfato férrico $Fe_2 (SO_4)_3 \cdot 2 H_2O$.

Se preparó una solución que contiene la siguiente concentración:
10 g./l (1 ml. = 10 mg.).

d) Sulfato ferroso $Fe (SO_4) \cdot 7 H_2O$, con
concentración de 10 g./l. (1 ml. = 10 mg.).

Método.

a) Se toman volúmenes iguales de agua por clarificar, agregando 500 ml. en cada uno de los seis vasos de precipitado de 1000 ml., colocándolos en el agitador mecánico, manteniendo la paleta agitadora en el centro del vaso y a una distancia de las paredes de 0.6 cm. A continuación se adiciona el coagulante en este caso de sulfato de aluminio variando las dosificaciones en cada uno de los vasos. Inmediatamente encender el agitador múltiple, a una velocidad de mezcla rápida de 100 rpm. aproximadamente, ésta mezcla rápida debe durar 3 minutos después de la adición del reactivo químico ó coagulante, anotar el tiempo de mezcla rápida y la velocidad en rpm. Después de un período de mezcla rápida adicionar cal (Hidróxido de calcio) si el caso lo amerita, después del coagulante.

b) Reducir la velocidad al mínimo posible (de 5 a 10 rpm). Este período de mezcla lenta es con el fin de incrementar el tamaño de flóculo y evitar que éste se disgregue y que se aglomere en el centro del vaso; el tiempo de mezcla lenta es de 20 minutos anotando el tiempo para la formación del primer flóculo visible.

Luego, durante cada cinco minutos de la agitación lenta, anotar el tamaño del flóculo y la velocidad de la mezcla (en rpm).

c) Pasado el tiempo de mezcla lenta, sacar las paletas agitadoras y observar el asentamiento de los flóculos. Anotado el tiempo necesario para que una partícula o flóculo llegue al fondo del vaso.

d) Después de quince minutos de asentamiento, anotar la apariencia de los flóculos sedimentados en el fondo del vaso, el agua que queda después de la sedimentación se le determina la turbiedad, pH, temperatura, alcalinidad, dureza y sólidos totales.

e) Todos los pasos anteriores se siguen hasta encontrar el punto óptimo de la coagulación del agua.

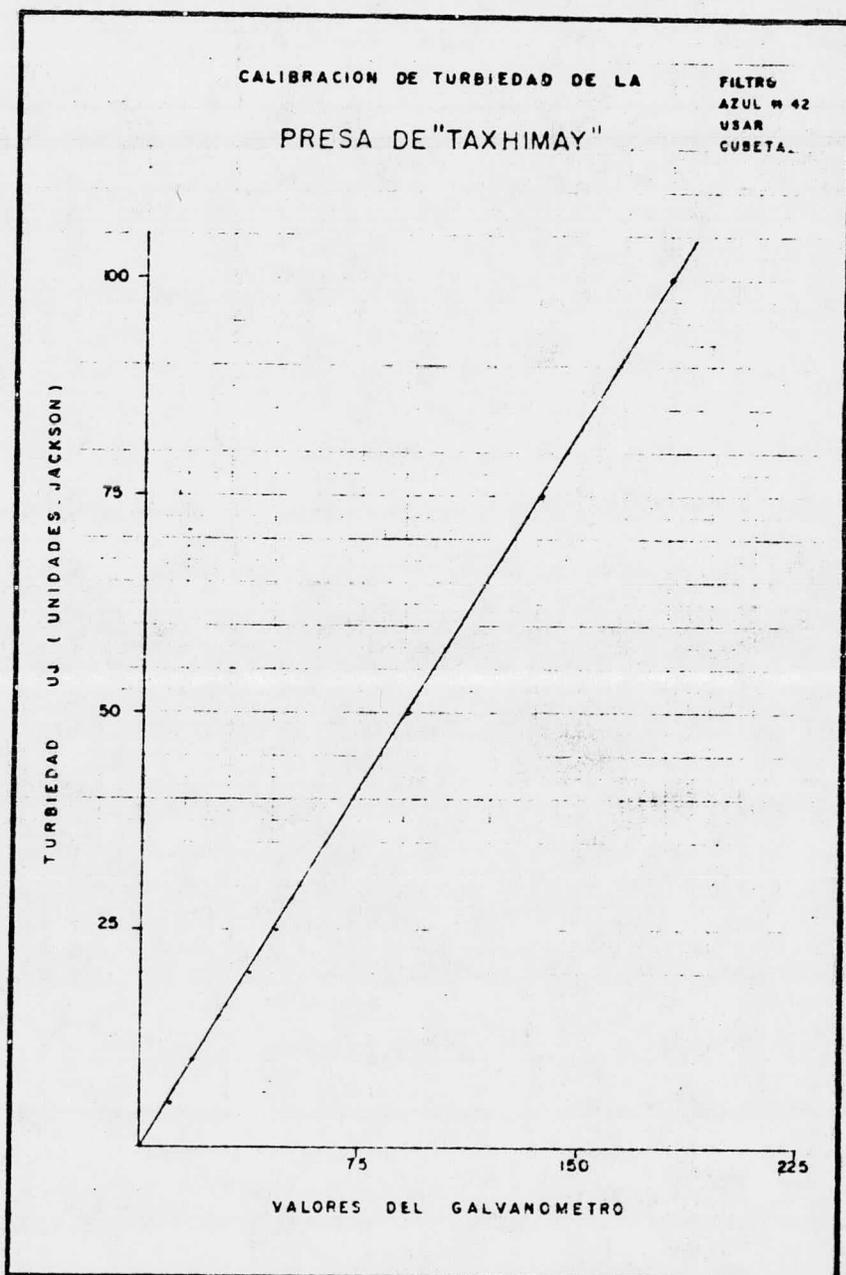
el fotocolorímetro Klett-Summerson. Fué necesario para el uso del fotocolorímetro utilizar la "cubeta" y el filtro azul de 400 a 465 milimicras de longitud de onda, ya que en estas condiciones los resultados son satisfactorios. Una vez obtenidos los grupos de valores, tanto del fotocolorímetro como del turbidímetro de Jackson, se trazaron gráficas tomando el eje "x" para el grupo de valores del fotocolorímetro y el eje "y" para los valores del turbidímetro, dando como resultado una serie de puntos que unidos dan una recta con cierta pendiente y que parte del origen de los ejes cartesianos.

La gráfica obtenida fué muy útil, ya que tomando una muestra del agua de la (Presa de Taxhimay,) y determinando su valor en el fotocolorímetro, en seguida se iba a la gráfica; con el valor obtenido el eje "x" y subiendo verticalmente hasta coincidir con la recta, a continuación se sigue horizontalmente hasta el eje "y", donde se obtiene el valor de la turbiedad en U.J. Es necesario mencionar que esta gráfica solo era válida para el agua de la presa de Taxhimay.

VI.1. ANALISIS FISICO.

Los análisis físicos que se llevaron a la práctica, como son turbiedad, temperatura, sólidos totales, sólidos disueltos y suspendidos no presentaron dificultad alguna ya que éstos se siguieron de acuerdo con los métodos indicados en el "Standard Methods" (5) y en el ASTM (6). La única variación de consideración en el agua de la Presa de Taxhimay, fué la turbiedad, ya que esta variación fué notable en los análisis hechos en diferentes fechas del año, y para su determinación fué necesario hacer una gráfica que relacionara valores de turbiedad en Unidades Jackson con el conjunto de valores obtenidos en el fotocolorímetro.

Se procedió a determinar la turbiedad del agua iniciando primero con pequeños volúmenes de muestra hasta volúmenes altos; a cada uno de los volúmenes se les determinó la turbiedad, primero en el turbidímetro de Jackson y a continuación en



VI.2. ANALISIS QUIMICO.

Por medio de este análisis se determinó el contenido de sustancias químicas presentes en el agua cruda de la Presa de Taxhimay, y en el agua clarificada de la Presa por medio de coagulantes. Consistió en 2 partes muy importantes que son:

VI.2.1. DETERMINACIONES VOLUMETRICAS.

VI.2.2. DETERMINACIONES COLORIMETRICAS.

VI.2.1. *Determinaciones Volumétricas.- Se utilizaron los métodos del APHA (5) y se hicieron las siguientes determinaciones:*

Dureza total como CaCO_3

Magnesio

Calcio

Acidez (CO_2)

Alcalinidad (Hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos).

Cloruros

Oxígeno disuelto

Demanda química de oxígeno (DQO)

Estos métodos se basan en el uso de soluciones tipo, por lo que fué conveniente preparar diversas soluciones tipo de diferentes concentraciones, en los cuales el resultado cuantitativo se obtiene por medio de volúmenes, efectuando posteriormente los cálculos según APHA (5).

a) Dureza Total, Magnesio y Calcio.

El método analítico, para dureza total, calcio y magnesio, hace uso de versenatos, sustancias orgánicas que secuestran calcio y magnesio de su forma iónica y alterando con esto el pH del agua; el versenato se aplica en solución valorada haciendo uso de indicadores apropiados, en este caso Eriocromo negro T para dureza total y magnesio y purpurato de amonio para calcio, para indicar el vire de la titulación.

b) Acidez (CO_2).

La acidez del agua, que es causada comunmente por la presencia de dióxido de carbono no combinado, de ácidos minerales y de sales de ácidos fuertes y bases débiles. La cantidad de acidez se determinó por titulación, con una solución patrón de una base fuerte, hidróxido de sodio, hasta un punto equivalente definido dado por la fenolftaleina. Teniendo, como resultado el volumen gastado de la base fuerte.

c) Alcalinidad.

La alcalinidad de las aguas se debe principalmente a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Se determinaron volumétricamente, haciendo uso del método de Warder; el cual consiste en titular la muestra con una solución valorada de ácido fuerte, ácido sulfúrico, al cual se le agrega previamente gotas de fenolftaleina; una vez lograda la desa-

parición del color se hace la primera lectura. Inmediatamente después se agregan unas gotas de amaranjado de metilo titulando nuevamente con el ácido fuerte y se procede a una nueva lectura.

En la primera parte de éste proceso se cuantea todo el hidróxido y la mitad del carbonato y en la segunda parte todos los bicarbonatos.

Con los volúmenes conocidos utilizados para la titulación, tanto en la primera y segunda lectura, se procede a interpretar la cantidad de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos existentes en el agua, mediante la ayuda de la siguiente tabla:

$$M = 0 \quad \text{OH}^- = F \times \text{pe.} \quad \text{OH}^- \times N \times \text{dilución} = \text{ppm OH}^-$$

$$F > M \quad \begin{cases} \text{OH}^- = (F-M) \times \text{pe.} \quad \text{OH}^- \times N \times \text{dilución} = \text{ppm OH}^- \\ \text{CO}_3^{--} = 2M \times \text{pe} \quad \text{CO}_3^{--} \times N \times \text{dilución} = \text{ppm CO}_3^{--} \end{cases}$$

$$F < M \quad \begin{cases} \text{CO}_3^{--} = 2F \times \text{pe} \quad \text{CO}_3^{--} \times N \times \text{dilución} = \text{ppm CO}_3^{--} \\ \text{HCO}_3^- = (M-F) \times \text{pe} \quad \text{HCO}_3^- \times N \times \text{dilución} = \text{ppm HCO}_3^- \end{cases}$$

$$F = 0 \quad \text{HCO}_3^- = M \times \text{pe} \quad \text{HCO}_3^- \times N \times \text{dilución} = \text{ppm HCO}_3^-$$



d) Cloruros.

Se determinaron por el método de Mohr, este procedimiento se basa en que los cloruros de la muestra son determinados por titulación con una solución estándar de nitrato de plata (AgNO_3), en presencia de un indicador que es el cromado de potasio (K_2CrO_4).

En este método se aprovechan las diferentes solubilidades del cloruro y el cromato de potasio. Se forma primero el compuesto más insoluble (AgCl) y cuando este ha terminado de reaccionar entonces, se precipita el cromato de plata, de color rojizo, lo que indica el final de la reacción.

e) Oxígeno Disuelto.

El método empleado es el de Winkler que consiste en la determinación de oxígeno disuelto en aguas relativamente puras. La determinación depende de la for-

mación de un precipitado de hidróxido manganeso. Este precipitado café es un óxido mangánico básico $MnO(OH)_2$, debido a la presencia del oxígeno del agua, al acidular (HCl) en presencia de un Yoduro (KI) desprende el yodo en cantidad equivalente al oxígeno contenido en la muestra. La cantidad de yodo se determina por titulación con la solución de tiosulfato de sodio estandar ($Na_2S_2O_3$).

f) *Demanda Química de Oxígeno*
DQO.

Es uno de los parámetros de carácter químico, que indican la presencia de materia orgánica, sin embargo, pese a que los resultados no son tan exactos como los que se obtienen por métodos bacteriológicos. Una de las principales limitaciones es la incapacidad para diferenciar la materia orgánica biológicamente oxidable de la inerte. Pero se escogió por su rapidez, ya que se requieren 3 horas como máximo para su valoración en lugar de 5 días que se necesitan para determinar la demanda bioquímica de oxígeno DQO.

En la determinación de la demanda química de oxígeno, muchos tipos de materia orgánica se destruyen por la mezcla en ebullición de ácidos crómico y sulfúrico. Consiste en someter la muestra a reflujo con cantidades conocidas de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. Durante el período de reflujo, la materia oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato de potasio, el exceso de dicromato se valora con la solución de sulfato ferroso amoniacal de concentración conocida y utilizando como indicador la ferroina.

Pero si existieran compuestos orgánicos (azúcares, ácidos alifáticos y aromáticos, amino ácidos, alcoholes, compuestos fenólicos e hidrocarburos) (8), estos llegan a interferir necesitando adicionar sulfato de plata, en la presente experiencia no los hay, la única interferencia que se presenta en esta determinación, es la presencia de cloruros (7) (8) (9), para lo cual se determinan los cloruros en una muestra por separado. Esta interferencia puede eliminarse por la adición de sulfato mercurico a la muestra antes de la adición de los otros reactivos,

pero no se llegó a adicionar debido a la poca concentración de cloruros. La corrección necesaria es la siguiente: (mg. de cloruros x 0.23), esta corrección solo es válida cuando no se utiliza sulfato de plata.

VI.2.2. Determinaciones Colorimétricas.-

Los métodos colcrimétricos se aplican fundamentalmente a los análisis químicos, los cuales consisten en tratar una solución de una substancia con un reactivo, de tal forma que produzca un color, proporcional en intensidad a la cantidad de substancia presente en la solución (10).

Las técnicas utilizadas para determinar cuantitativamente del ión buscado, fue leyendo una serie de soluciones estandar del ión a diferentes concentraciones conocidas, ya fuera en el fotocolorímetro o el fotómetro de flama, dependiendo del ión, y dando como resultado una serie de datos obtenidos tanto de lectura como de concentración. Finalmente se trazo una gráfica con estos valores, y las gráficas obtenidas, se dividieron en dos tipos de curvas de calibración:

- a) Lineales con cierta pendiente.
- b) Curvas parabólicas.

El fin seguido es, que con esta representación gráfica de los datos, que es uno de los métodos más simples, es para demostrar la influencia de una variable sobre otra. Las gráficas son frecuentemente deseables y ventajosas en análisis colorimétrico, porque demuestran la variación de una variable con respecto a la otra sin límites específicos.

Ordinariamente son representadas en coordenadas rectangulares y logarítmicas para mayor facilidad. Como variables independientes se consideran las concentraciones de la solución estandar, en mg/l., y como variables dependientes las lecturas en el galvanómetro del fotocolorímetro.

Las gráficas resultantes a partir de los datos obtenidos son lineales para las determinaciones siguientes:

Sodio

Potasio

Litio

Nitritos

Nitratos

Fierro

Las gráficas obtenidas con los datos de las soluciones estandar de concentraciones conocidas, y de las lecturas del fotocolorímetro, resultan curvas para las determinaciones siguientes:

Nitrógeno Amoniacal

Sulfatos

Manganeso

Fosfatos

Sílice

Aluminio

Zinc.

En lo que respecta a los iones, sodio, potasio y litio se seleccionó el método de flama fotométrica; que es el más rápido y sensible, y generalmente más exacto que el método gravimétrico, especialmente para concentraciones de sodio, potasio y litio menores de 10 mg/l., y que para este tipo de muestra es el adecuado.

2

Para nitratos y nitritos se siguió el método colorimétrico, adecuado para concentraciones menores de 30 ppm., ya que estas aguas superficiales no están sujetas a extensas contaminaciones; como las aguas de desecho, ni por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente de las eliminadas por los animales.

La recopilación de los datos obtenidos, tanto para sodio, potasio, litio, nitritos, nitratos y fierro dió como resultado de las experiencias, aproximadamente una proporción lineal; para cada una de las determinaciones antes mencionadas, pudiendo decir que entre las variables existe una relación lineal.

La ecuación de la línea recta es:

$$y = mx + b \dots\dots\dots (1)$$

Si graficamos los valores de las concentraciones conocidas, en mg/l., o ppm, con los valores obte-

nidos en el espectrofotómetro, obtenemos una gráfica semejante a la figura número 1. Sabemos que la pendiente de una recta es:

$$\text{Tang } \alpha = m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \dots\dots (2)$$

Se toman dos puntos cualesquiera de la recta, se conocen y_2, y_1, x_2, x_1 ; obteniendo un valor para m , a partir de la ecuación (2). Con estas variables conoceremos la pendiente de la recta, la cual será constante en cualquier punto de la recta. Conociendo m, x, b ; y partiendo de la ecuación (1) se obtendrá que:

$$y = mx + b$$

Donde:

b = cero; constante en toda la recta.

x = lectura en el galvanómetro

y = ppm del ión buscado

m = pendiente de la recta y constante a lo largo de ella.

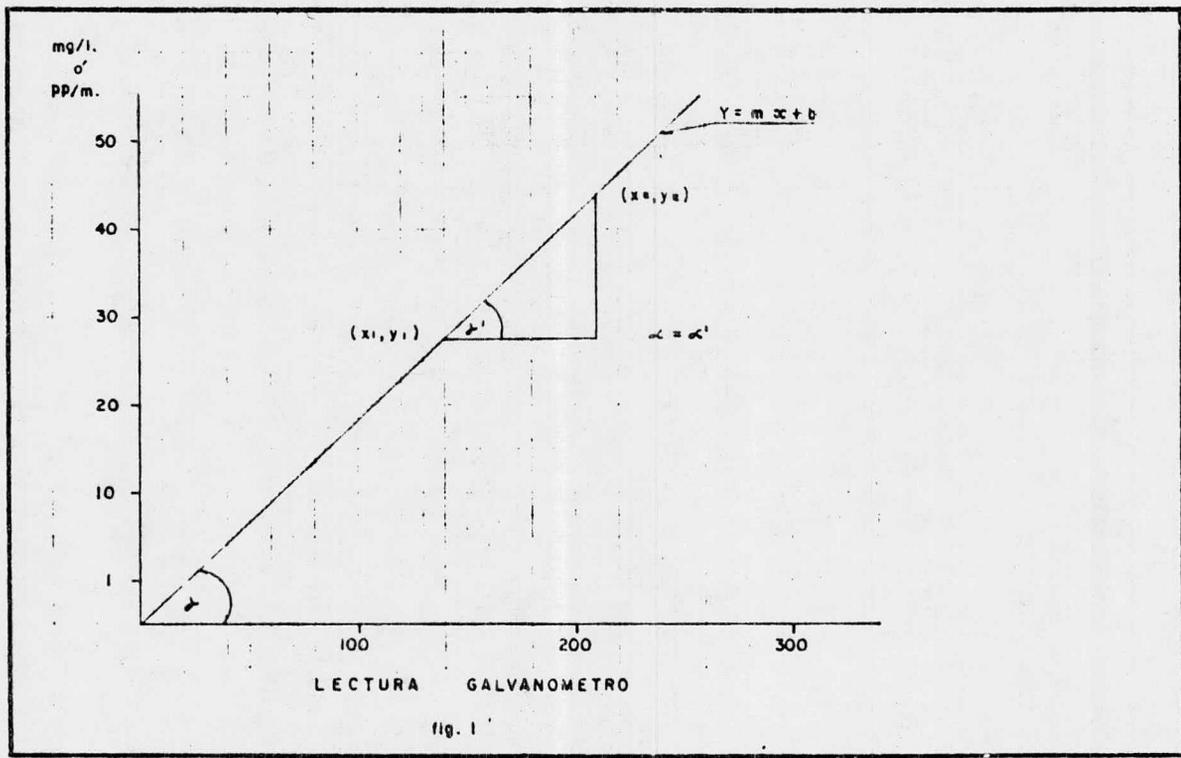


fig. 1

Por lo tanto tenemos:

$$\text{ppm del ión buscado} = \text{valor constante} \times \text{lectura del espectrofotómetro} + \text{cero.}$$

Con esto se llegó a los valores siguientes de m ó tangente α ; para los iones siguientes; que multiplicados por la constante m y por la lectura obtenida en el espectrofotómetro da los ppm del ión buscado.

(Valores de m)	(Ión Buscado)
0.05	Na^+
0.1	K^+
0.15	Li^+
0.000666	NO_2^-
0.013	NO_3^-
0.056	FeO

Referente a las gráficas obtenidas para los iones de nitrógeno amoniacal, sulfatos, manganeso,

fosfatos, sílice, zinc, y aluminio. Se siguieron los métodos indicados en los métodos standar para aguas (5), obteniendo curvas parabólicas, que no pueden ser semejantes a una recta, por los datos obtenidos.

Las gráficas obtenidas son las siguientes: Fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, y que para conocer los mg/l., del ion buscado, necesariamente se tendrá que hacer uso de ellas. Conociendo la intensidad de color leída en el espectrofotómetro, cuyos valores se encuentran graficados sobre el eje "x", se sube verticalmente hasta cruzar con la curva, después se sigue horizontalmente hasta el eje "y" donde nos da el valor de mg/l. o ppm del ion buscado.

Figura 2.

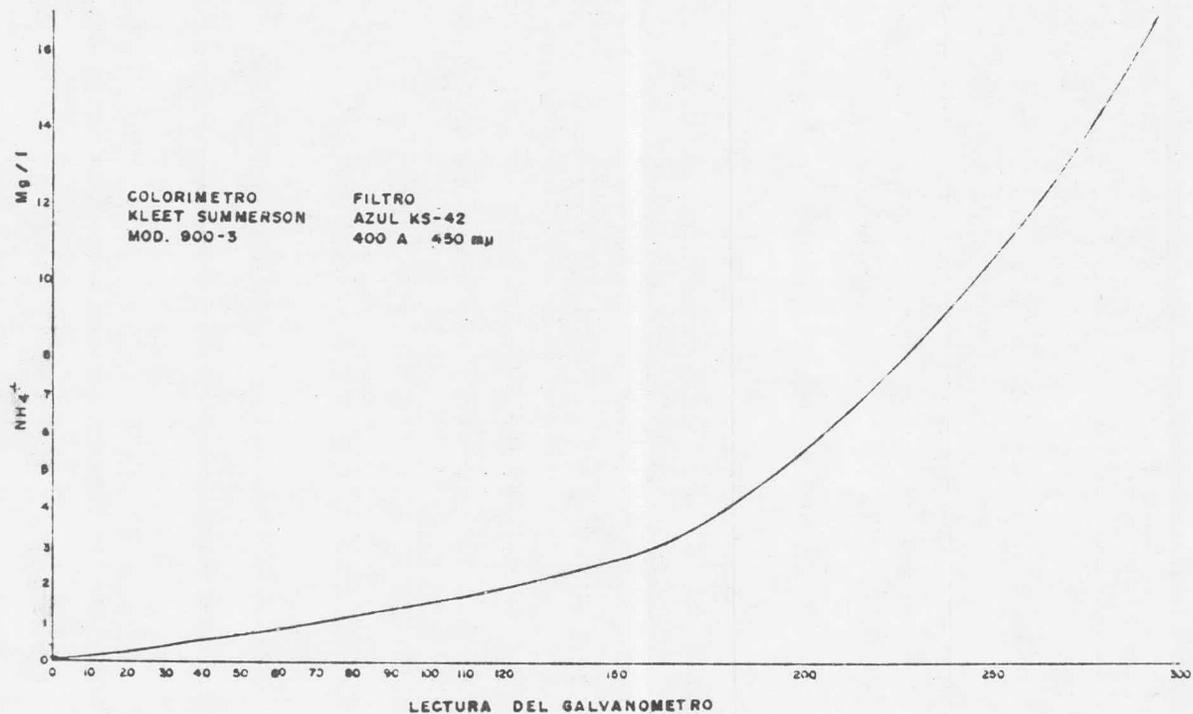


Figura 3.

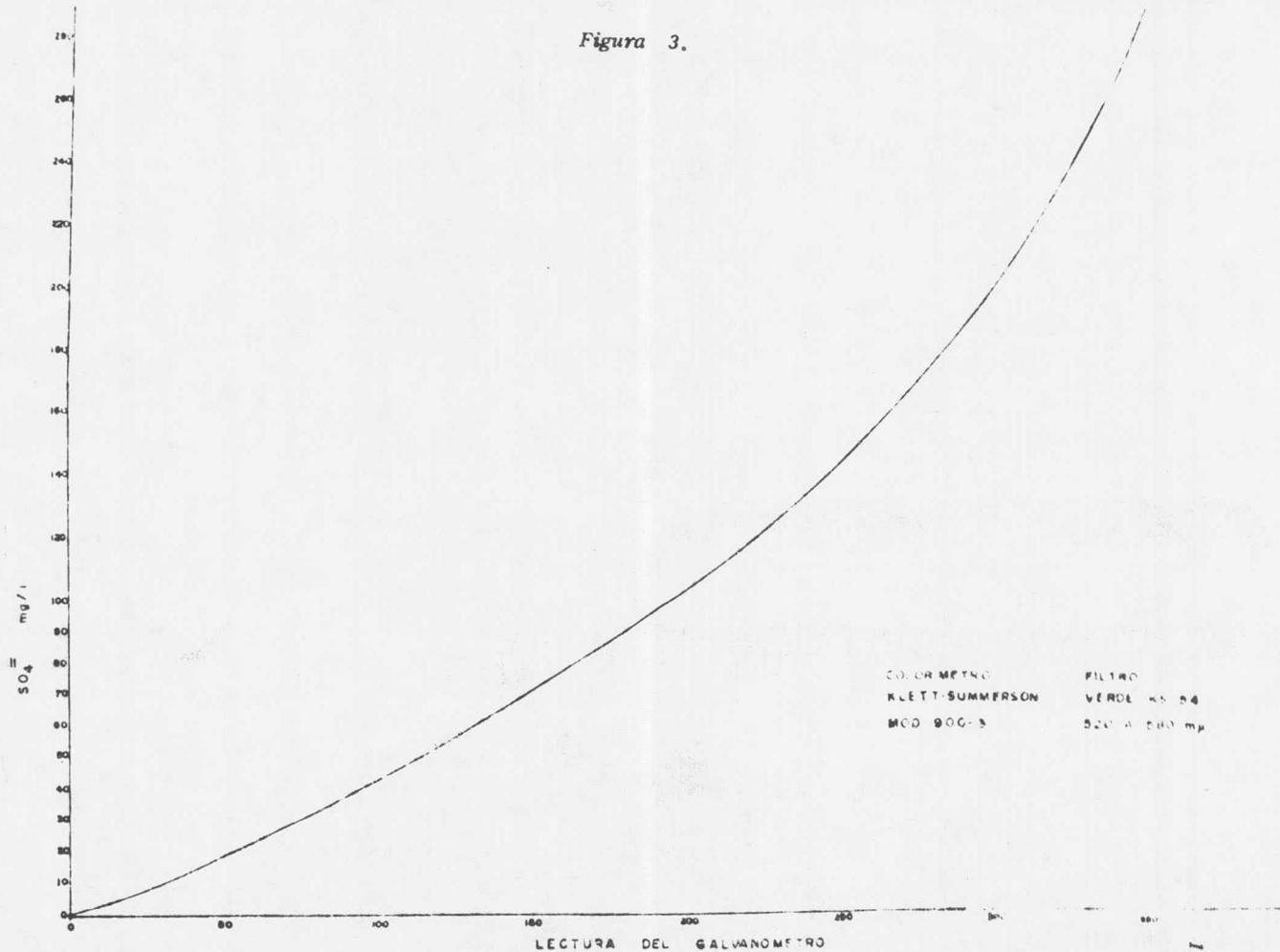


Figura 4.

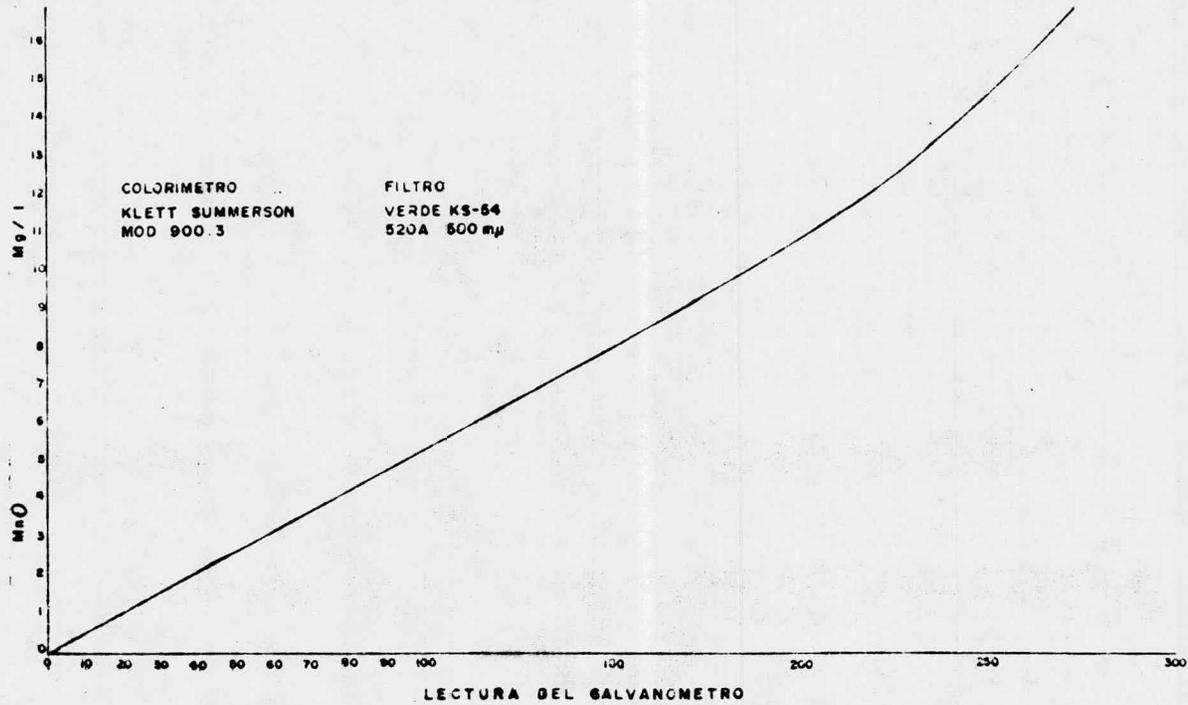


Figura 5.

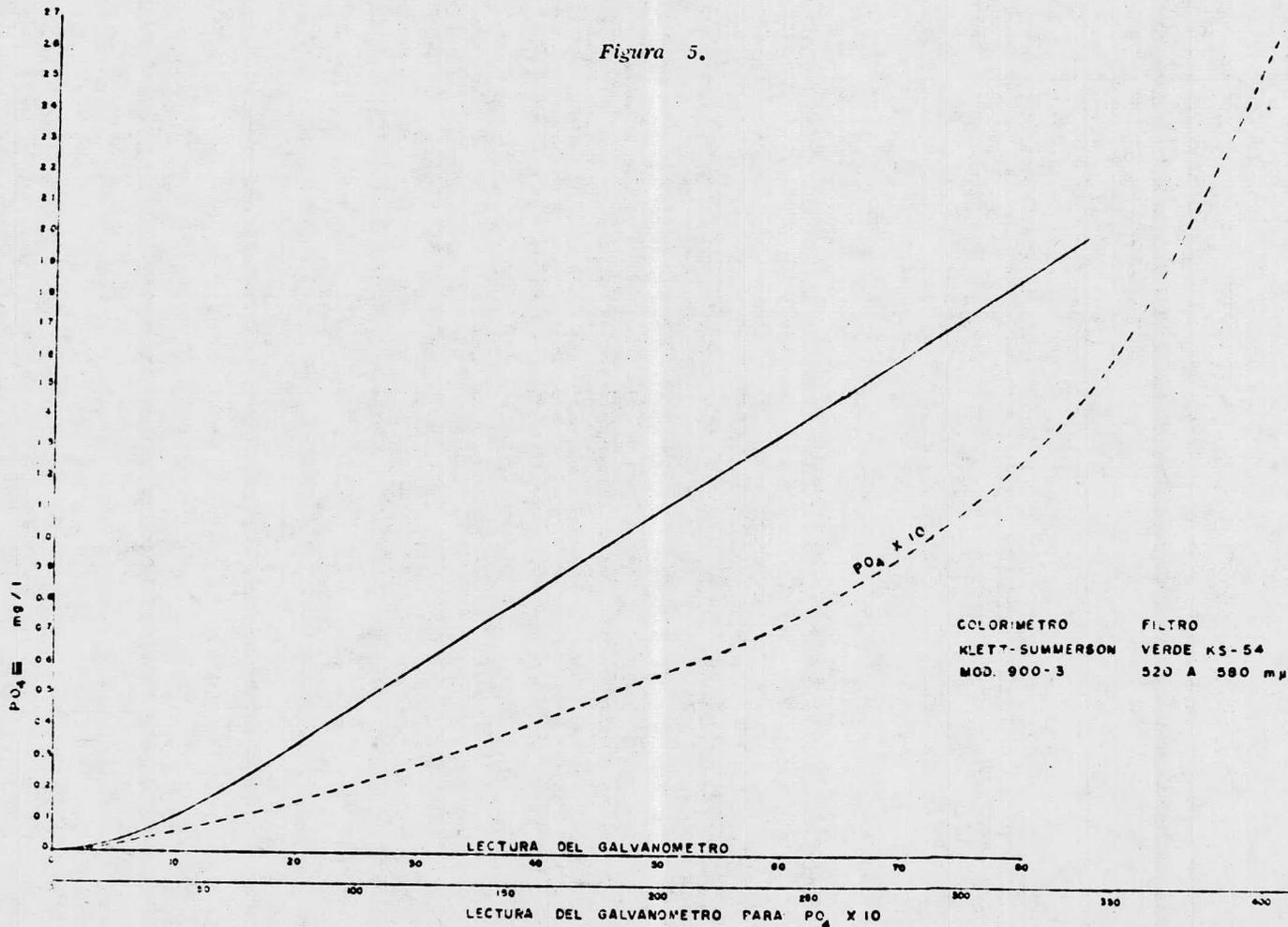


Figura 6.

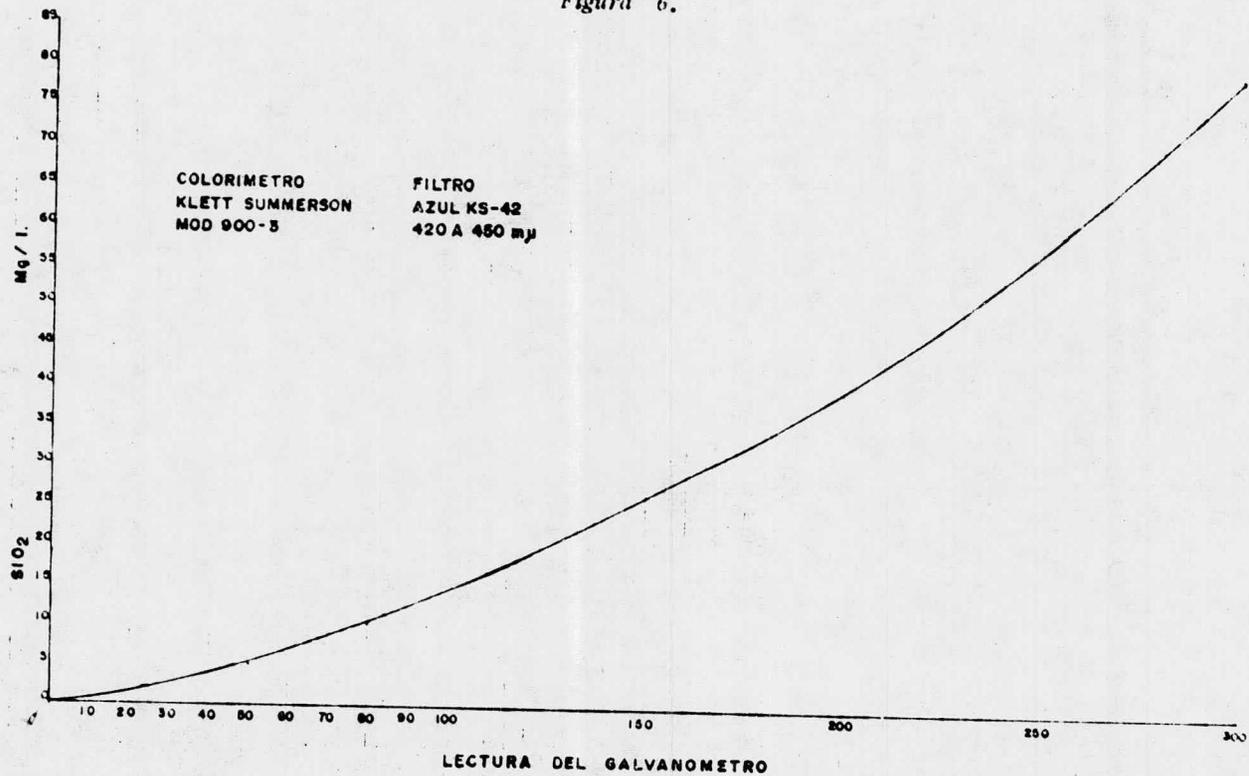


Figura 7a.

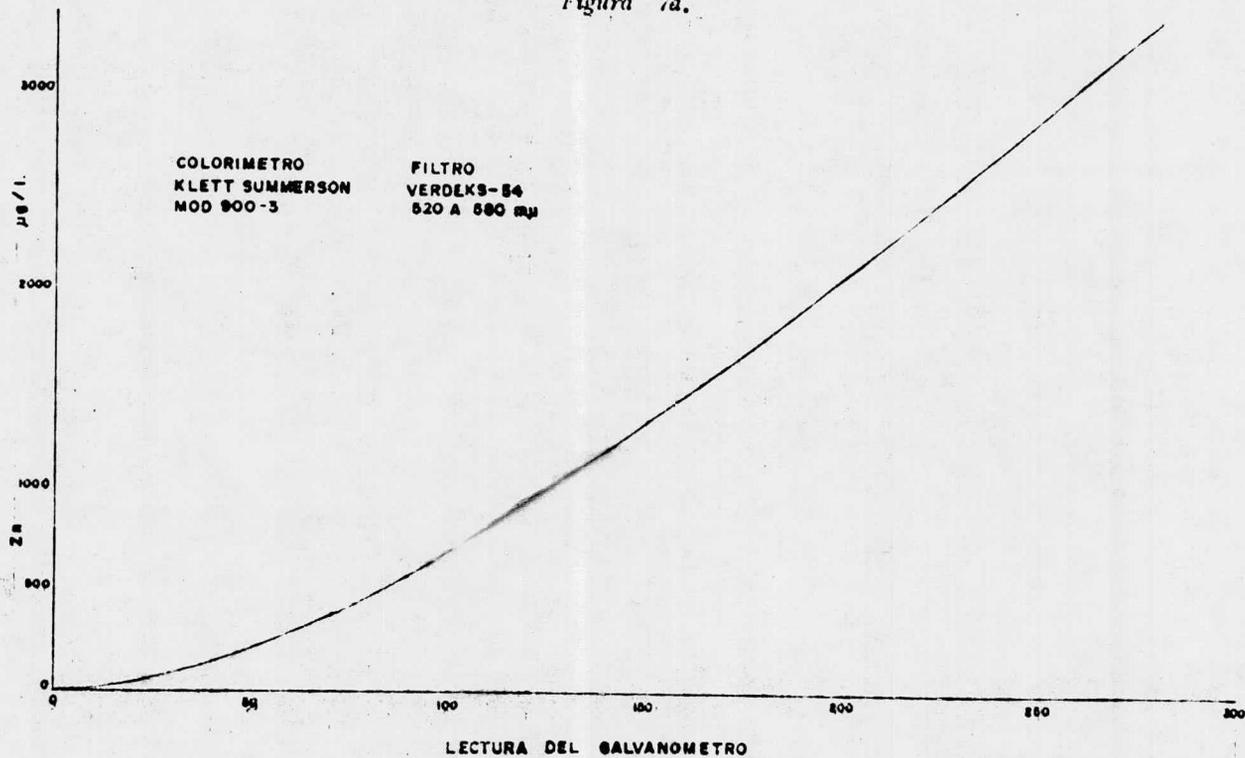


Figura 7b.

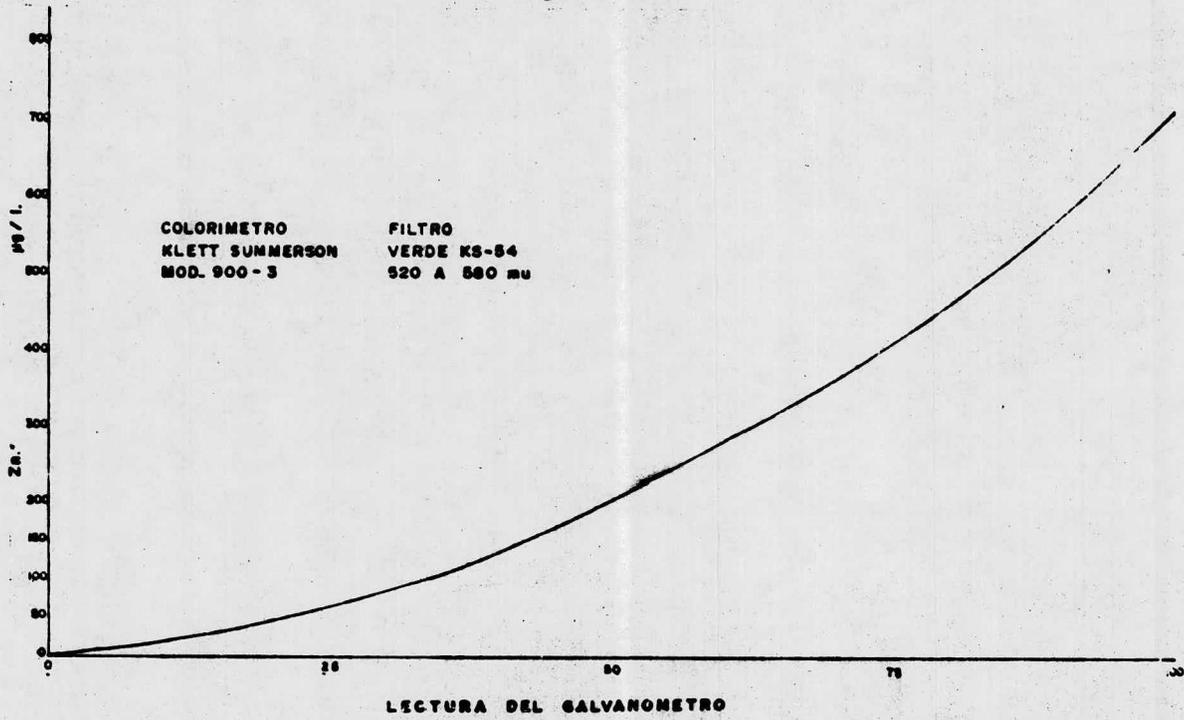
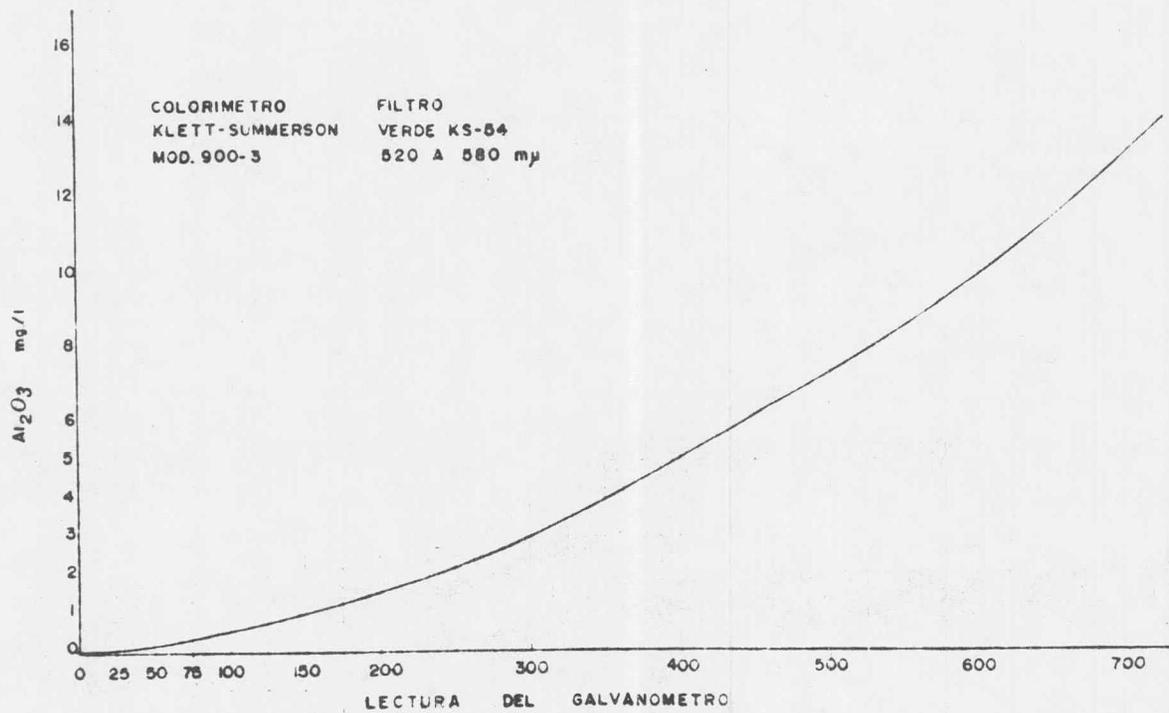


Figura 8.



VI.2.3.

EXAMEN BACTERIOLOGICO.

El objetivo principal del examen bacteriológico del agua es proporcionar toda la información relacionada con su potabilidad, es decir, evitar el peligro de ingerir organismos que puedan producir enfermedades.

La identificación y determinación efectuadas mediante el examen de Laboratorio, que es relativamente rápido y sencillo. Y cuyas reacciones características del grupo coliforme y discusiones completas sobre esto, pueden encontrarse en varios textos sobre Bacteriología y particularmente sobre Bacteriología de agua y sanidad (5), (6) y (4).

La recolección de la muestra, para sus análisis bacteriológico, se sometió a lo siguiente:

- a) La muestra se recogió en un recipiente esterilizado.*
- b) La muestra fue representativa de la Presa de Taxhimay.*

c) *Se evitó la contaminación de la muestra durante su recolección y transporte.*

d) *Se analizó tan pronto como llegó la muestra.*

Son varias las técnicas selectivas y los medios diferenciales que facilitan la investigación de organismos coliformes presentes en el agua. La técnica de los tubos de fermentación se efectuó mediante 3 pruebas sucesivas, que si resultan positivas puede decirse que existe la presencia del grupo E. Coli, estas pruebas son:

1a. Prueba presuntiva

2a. Prueba confirmativa

3a. Prueba complementaria

Estas pruebas nos permiten conocer el N.M.P. ó número más probable de coliformes presentes.

Las bacterias que producen enfermedades gastrointestinales son clasificadas dentro del grupo coliforme, para este grupo hay una serie de pruebas, las indicadas anteriormente, que revelan su presencia. En sí, el exámen bacteriológico constó de lo siguiente:

1) *De una cuenta total de las colonias que se desarrollen sobre un medio de agar sólido e incubado a 37°C, durante 24 horas.*

2) *Procedimiento para determinar la presencia ó ausencia del grupo que se caracteriza por dar la reacción de Gram negativa, no forma esporas y fermentar la lactosa con producción de gas.*

La cuenta bacteriana da los indicios solamente de organismos y la proximidad de un punto de contaminación, y el grupo de bacterias coliformes nos indica la presencia eventual de patógenos, bacterianos intestinales.

Debido a que con los métodos hasta ahora disponibles no es posible hacer un recuento directo de los organismos del grupo coliforme, se usa un sistema que toma en consideración: el número de porciones examinadas, las diluciones de tales porciones y el número de las que dan la prueba positiva. Con éstos tres factores se recurre a las tablas (4) que dan el número más probable de organismos coli por 100 ml. de muestra de agua.

El agua de la Presa a simple vista presenta en su superficie pocos organismos microscópicos, que forman grupos bien definidos de plantas acuáticas y animales microscópicos, y que se encuentran en escasos lugares cercanos a la orilla y que son características de las aguas superficiales; como lo son el plancton y las algas.

VI.2.4. PRUEBA DE VASOS.

La coagulación como proceso de tratamiento químico, es una serie de operaciones químicas y mecánicas por las cuales se aplican los coagulantes y producen su efecto. La coagulación comprende dos fases: la mezcla; durante la cual el coagulante disuelto se dispersa rápidamente en el agua mediante fuerte agitación, y la floculación ó agitación de agua a velocidad más baja durante un tiempo mucho más largo, y durante el cual las partículas muy pequeñas crecen, se unen y se aglomeran en flóculos o copos hidratados bien definidos con un tamaño suficiente para asentarse fácilmente (12).

El asentamiento de las materias en suspensión ha recibido los nombres de sedimentación y clarificación. Sin embargo, el término clarificación designa también el conjunto de coagulación y sedimentación (12), (13), (14) y (15). Otros consideran a la coagulación como un proceso en el que intervienen tres factores muy esenciales: mezclado, floculación y sedimentación (16) y (17).

Debido a que no todas las aguas se encuentran en las mismas condiciones, es necesario someterlas a determinados métodos de clarificación.

Se sometió a un tratamiento químico, consistente en adicionar al agua determinados coagulantes, mediante ensayos de laboratorio, por el método de "prueba de vasos", cuyo objetivo principal fué eliminar la turbiedad y el color ya que en muchos casos, estos factores no tienen efectos fisiológicos; pero son inconvenientes desde el punto de vista psicológico, cuando es utilizada como agua potable.

Las pruebas de coagulación, comúnmente llamadas "pruebas de vasos" es un método para seleccionar el tipo, concentración y valor óptimo del pH para el coagulante, en la cual se emplearon tanto el sulfato de aluminio como el sulfato ferroso y férrico, con o sin hidróxido de calcio; además dicha selección se basa en los resultados de estas pruebas, en la facilidad de obtención de los coagulantes y en el costo de ellos.

Estas pruebas se hicieron con aguas de diferentes épocas del año, pues es posible que la dosificación pueda variar con la diferente calidad de las aguas crudas.

Los coagulantes seleccionados para efectuar éstas experiencias son los siguientes (18).

Substancia Coagulante	Rango de pH para mejor coagulación
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	5.5 - 8.0
$Fe (SO_4) \cdot 7 H_2O$	8.5 - 11.0
$Fe_2 (SO_4)_3 \times H_2O$	5.0 - 11.0

El método seguido para llegar a estas cantidades de dosis tanto de sulfato de aluminio, sulfato ferroso y férrico e hidróxido de calcio fué el del "ASTM" (6). Otro método utilizado, pero que no dió buenos resultados en las experiencias efectuadas, es el que tome en consideración las reacciones que se llevan a cabo tanto por la adición del coagulante como del medio alcalino y de las cantidades de substancias presentes en el agua como son el CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{--} y Mg^{++} (19).

También se efectuaron las siguientes pruebas: El agua de la Presa Taxhimay, se dejó en completo reposo para conocer si realmente el agua requiere la utilización de coagulantes; se efectuaron pruebas de coagulación utilizando como coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso; por último, se hicieron pruebas utilizando sulfato de aluminio y cal; sulfato ferroso y cal; y sulfato ferroso, cal y carbonato de sodio.

Con base a lo anterior, se cubrieron dosificaciones que se extendieron desde muy por debajo de la dosis prevista hasta muy por encima de ésta. Permitiendo así, la determinación inmediata del rango o intervalo dentro del cual debería estar la dosis. Con las experiencias hechas y con la cantidad más económica de coagulantes y cal se llegó a la dosificación siguiente:

Sulfato de aluminio de 35 - 40 ppm.

Hidróxido de calcio de 25 - 26 ppm.

Estas pruebas se efectuaron usando un aparato de agitación mecánica y como coagulantes sulfato de alu-

minio, sulfato ferroso y férrico y cal; la adición del coagulante en solución al agua cruda de la Presa, se hizo de la siguiente manera:

Se emplearon los tres coagulantes para conocer cual de éstos producía flóculos de buen tamaño, mejor sedimentación, mejor tiempo de formación del flóculo y de sedimentación; cumpliendo todo esto que se consumiera la mínima cantidad de coagulantes. Es decir, que tiene buen rendimiento a bajo consumo de coagulante llegando finalmente a escoger el sulfato de aluminio. Los resultados obtenidos aparecen en el capítulo siguiente.

La coagulación consistió en agregar el coagulante simultáneamente en todos los vasos, se procuró que la adición del coagulante fuera lo más rápido posible. Ya que la agitación rápida o mezcla rápida durante 3 minutos y a una velocidad de 100 rpm, son esenciales para que el coagulante comience a reaccionar en el momento de ser añadido al agua cruda, ya que si no se distribuyó uniformemente la reac-

ción se verificaría únicamente en una pequeña parte del agua y el resto no recibiría el tratamiento debido, influyendo notablemente en los resultados finales.

También se notó que el coagulante deberá introducirse con mucha anticipación a la cai, evitando así la fijación del color. Después de la mezcla rápida, se añadió el hidróxido de calcio reduciendo la velocidad al mínimo de 5 rpm., para que el flóculo formado en la mezcla rápida, permaneciera uniforme y aumentara el tamaño, el tiempo de floculación fué de 15 minutos.

Transcurrido el tiempo de coagulación, se dejó el agua en reposo, para conocer el tiempo real de sedimentación de los flóculos formados en la coagulación y conocer el aspecto de éstos en el fondo del vaso.

Algunos textos indica, que para una buena coagulación, el ajuste del pH debe hacerse con amplia anticipación a la coagulación y así obtener resultados económicos

(12) (20) (16). También se efectuaron este tipo de experiencias, utilizando para el ajuste de pH, el ácido clorhídrico, basándose en las experiencias de (21), cuyos resultados fueron contraproducentes ya que en ciertas ocasiones el agua clarificada era corrosiva y en otras incrustante. Por lo que finalmente, se llevó a efectuar las experiencias al pH del agua natural.

VII.- RESULTADOS.

VII.1. RESULTADOS FISICO-QUIMICOS.

Los análisis físicos y químicos de las aguas de la Presa de Taxhimay, se interpretan en la Tabla 1, habiéndose efectuado todas las determinaciones enumeradas del capítulo V.

También se hizo un análisis físico-químico del río San Luis de las Peras, que es el principal afluente al vaso de la presa, cuyas características aparecen en la Tabla 2.

Resultados del Agua de la Presa Taxhimay:

De acuerdo con los análisis dados a conocer en la Tabla 1, se deduce que las características químicas del agua no se sobrepasan a las normas de calidad del agua (22), notándose que el agua presenta características físico-químicas muy semejantes en los años de 1968, 1969, 1973 y 1974.

El agua de esta presa contiene un alto grado de turbiedad, según los datos proporcionados. La turbiedad se debe a una arcilla finamente dividida, que procede indudablemente de la erosión del suelo, la cual sedimenta lentamente. Lo anterior se confirma por el hecho de que fueron reportadas precipitaciones pluviales de bastante intensidad, en los últimos años, el valor mínimo de turbiedad se obtuvo de la muestra número 9 con fecha del 10 de noviembre de 1973, y la máxima en la muestra número 8 y número 12 con fechas 18 de julio de 1973 y 26 de marzo de 1974 respectivamente.

Las muestras fueron tomadas a la salida de la Presa, es decir, tanto del vertedor como de la obra de toma, habiendo estado sujetas las aguas del vaso a sedimentación.

Esta alta turbiedad en el agua de la Presa, provoca en ella un color muy intenso, pero es conveniente hacer notar que éste color aparente no se debe al desagüe de pantanos o desechos industriales, ya que los ríos afluentes al vaso de la Presa provienen de manantiales, veneros y escurrimientos de

agua debido a precipitaciones pluviales; y éstas aguas al erosionar el suelo, acarream finas partículas de arcilla, impartiendo al agua un color café claro.

Las temperaturas en general tienen poca variación durante las distintas estaciones del año, presentando características muy semejantes en todas la muestras.

El valor del pH, también es casi constante encontrándose dentro de las normas de calidad del agua.

El contenido de FeO, MnO y Al₂O₃ existen únicamente **huellas**, y acaso en algunas muestras tomadas en fechas diferentes.

Las determinaciones referentes a calcio y magnesio, según la Tabla 1, la concentración de los iones es baja manteniéndose casi uniforme desde el 22 de julio de 1968 hasta la última muestra con fecha 26 de marzo de 1974.

La dureza ha mantenido un ritmo constante en su concentración, notándose que en los primeros meses del año su concentración es baja y tendiente a incrementarse, hasta llegar a una concentración máxima casi constante a mediados de año y finalmente en los últimos meses del año tiende a disminuir la concentración de la dureza.

Referente a nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal y fosfatos, la concentración de éstos iones es baja, existiendo huellas únicamente. La mínima presencia de éstos iones es un índice de la [escasa] contaminación del agua de la [Presa de Taxhimay].

Los cloruros, en general tienen poca variación en sus concentraciones, manteniéndose casi uniforme en todas las muestras analizadas.

La alcalinidad (HCO_3^- , CO_3^{--} , OH^-) en el agua analizada, presenta bajas concentraciones y cuyos valores son uniformes, el pH del agua es ligeramente alcalino, es debido a la

presencia de los bicarbonatos ya sean alcalinos o alicalinóterreos. Únicamente en la muestra número [7 con fecha 26 de mayo de 1973,] presenta tanto bicarbonatos como carbonatos; a diferencia de todas las muestras analizadas que contienen solamente bicarbonatos.

Las determinaciones de dióxido de carbono y oxígeno disuelto; sólo aparecen a partir del [12 de julio de 1973] hasta el [26 de marzo de 1974] ya que anteriormente no se efectuaban éstas determinaciones en el análisis. De los datos estimados en la tabla 1 se ve claramente que las concentraciones de dióxido de carbono y de oxígeno disuelto son uniformes, no presentando ninguna variante de consideración.

Sílice, en general las variaciones durante las distintas fechas de muestreo son de poca importancia, presentando el agua características muy semejantes. No existen limitaciones sobre este elemento para aguas empleadas para abastecimiento, excepto para uso industrial.

Sodio, las muestras de los años 1968 y 1969 mostraron concentraciones mayores que la de los años 1973 y

1974. Se nota, que las concentraciones del ion sodio está dentro de un rango en los años 1968 y 1969, pero en los últimos años de 1973 y 1974, ha tendido a descender.

Potasio y Litio; en lo que respecta a litio, no se encuentra en las muestras analizadas; el potasio tiene concentraciones bajas y ha permanecido invariablemente durante el tiempo.

Los sólidos totales del agua cruda de la Presa de Taxhimay, están dentro de las normas, los datos tabulados muestran las variaciones siguientes: en los meses de marzo a octubre hay un aumento de los sólidos totales, debido a las precipitaciones que causan un mayor arrastre de materias orgánicas e inorgánicas; en cambio en los meses de noviembre a febrero las cantidades de los sólidos totales son menores, a causa de la minoría de las lluvias. En sí, los sólidos totales son la suma de los compuestos que se encuentran en el agua y es reflejo de la calidad del agua.

De los resultados de éstos análisis se desprende que desde el inicio hasta el último análisis efectuado, en el pe-

riodo de 1968, 1969, 1973 y 1974, ha habido una calidad uniforme del agua, lo cual sería de interés continuar éste estudio y ver si ésta tendencia continúa en el futuro, como hasta la fecha.

El río San Luis de las Peras, como ya se dijo que, es el principal afluente al vaso de la Presa, según los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos y que aparecen en la Tabla 2, nos demuestra que los valores se encuentran dentro de las características físico-químicas de una agua de buena calidad potable.

T A B L A No. 1

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA PRESA DE "IRAKINBY"

CANTIDAD - LITROS.	I O N E S .	22 JULIO 68		22 JULIO 69		26 - AGO. 68		26 - SEPT. 68		10 NOV. 68		8 DIC. 68		26 NOVI 73		18 JUL. 73		10 NOV. 73		5 ENR. 74		6 - FEB. 74		26 MARZO 74	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
17	Ca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	CO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Mg	49	0.8	82	1.3	50	0.8	44	0.8	44	0.7	50	0.8	6	0.1	46	0.8	47	0.8	47	0.8	43	0.7	72	0.8
48	SO ₄	4	0.1	0	0	0	0	0	0.2	0	0	2	0.0	20	0.4	22	0.4	36	0.8	1	0.0	19	0.4	17	0.8
24.5	Cl	13	0.4	15	0.5	22	0.6	22	0.6	16	0.4	19	0.5	16	0.4	20	0.5	12	0.3	20	0.6	12	0.3	15	0.4
46	NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	NO ₃	0	0	2	0.0	1	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31.7	PH	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	CO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	SiO ₂	26	0.9	27	0.8	22	0.7	23	0.8	17	0.6	25	0.8	29	1.0	24	0.8	20	0.9	20	0.9	10	0.3	24	0.9
17	Al ₂ O ₃	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	1	0.0	0	0	0	0	0	0
36	F ₂	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	0	0	1	0.0	0	0	0	0	0	1	0.0	1	0.0	0
35.6	Mn	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	C ₂ H ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.2	6	0.2	5	0.2	6	0.2	5	0.2
22	CO ₂	9	0.4	9	0.4	6	0.3	4	0.3	5	0.2	6	0.3	4	0.2	6	0.3	6	0.3	6	0.3	6	0.3	6	0.3
12.1	NO ₂	6	0.3	5	0.4	6	0.5	3	0.2	3	0.2	3	0.2	6	0.5	4	0.5	3	0.2	7	0.2	4	0.3	5	0.4
2.3	NO ₃	4	0.2	21	0.9	12	0.5	21	0.9	14	0.6	16	0.7	8	0.3	15	0.6	5	0.2	7	0.3	5	0.2	4	0.2
4.9	Li ⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.1	K ⁺	3	0.1	5	0.1	2	0.0	2	0.0	2	0.0	2	0.0	3	0.1	2	0.0	1	0.1	2	0.0	2	0.0	2	0.0
18	Na ⁺	1	0.1	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	1	0.0	2	0.1	1	0.0	1	0.0
50	O ₂ Total	47	0.9	43	0.8	36	0.9	27	0.5	24	0.5	27	0.5	35	0.7	42	0.8	26	0.5	17	0.4	32	0.6	31	0.7
	Sol. Total	285		1406		622		942		776		742		382		469		742		796		168		281	
	Sol. Dis.	24		724		400		468		294		206		266		336		206		172		140		54	
	Sol. Sues.	72		682		222		2		152		36		14		24		24		42		82		55	
	Turbiedad	---		---		---		---		---		---		---		16	62.	95	62.	115	62.	105	62.	115	62.
	pH	7.9		6.8		6.7		7.8		7.7		8.1		8.0		8.1		8.1		7.7		7.7		7.7	
	Temp. 8 C	18C		18C		17C		20C		19C		18C		19C		18C		20C		21C		19C		21C	

R I O S A N L U I S

143.

T A B L A No. 2

QUIVA- LENTES.	I O N E S	5 DE ENERO 1974		4 DE FEBRERO 1974	
		ppm	epm	ppm	epm.
17	OH ⁻	0	0	0	0
30	CO ₃ ⁼	0	0	0	0
61	HCO ₃ ⁻	61	1.0	61	1.0
48	SO ₄ ⁼	1	0.0	2	0.0
35.5	Cl ⁻	22	0.6	16	0.5
46	NO ₂ ⁻	0	0	0	0
62	NO ₃ ⁻	0	0	0	0
31.7	PO ₄ ⁼	0	0	0	0
22	CO ₂	6	0.3	4	0.2
30	SiO ₂	42	1.4	1	0.0
17	Al ₂ O ₃	0	0	0	0
36	FeO	0	0	0	0
35.4	MnO	0	0	0	0
8	O ₂ dis	6	0.7	7	0.9
20	Ca ⁺⁺	5	0.2	8	0.4
12.1	Mg ⁺⁺	37	3.1	8	0.7
2.3	Na ⁺	6	0.3	4	0.2
6.9	Li ⁺	0	0	0	0
39.1	K ⁺	3	0.1	3	0.1
18	NH ₄ ⁺	2	0.1	1	0.0
50	D. total	78	1.6	34	0.7
	Sol. total	116		118	
	Sol. dis.	114		110	
	Sol. susp.	2		8	

Turbiedad 5 UJ
pH 7.4
Temp. 20° C

No determinada (nd)
7.5
19° C

VII.2. RESULTADOS BACTERIOLOGICOS.

Los análisis bacteriológicos del agua de la Presa de Taxhimay, se hicieron teniendo como base los requisitos establecidos en los métodos americanos (4) y cuyas características bacteriológicas aparecen en la Tabla 3.

Los análisis bacteriológicos para determinar el grupo coliforme dan como resultado una evidencia negativa de contaminación, de la misma manera que no hay una posible presencia de bacterias patógenas provenientes de excreciones intestinales de los animales.

El índice de contaminación o cuenta total a 37°C; nos indica un número de colonias por mililitro regular, por así decirlo, ya que el examen bacteriológico se encuentra dentro de los límites permitidos para que una agua se considere potable.

El reglamento (24) estipula que para una agua se considere potable, al hacer la cuenta de colonias desarrolladas,

su número no sea mayor de 200 por ml., y al investigar la presencia de organismos coliformes éstos no excedan de 20 por litro, ó 2 organismos coli por 100 ml.

Por los resultados obtenidos en éstos exámenes bacteriológicos, ésta agua es buena bacteriológicamente, gracias al análisis efectuado; también por el carácter y área de la cuenca, de su geología y topografía, de su extensión y naturaleza del desarrollo hecho por el hombre.

Como resultado final puede decirse, que la poca contaminación "natural" y la provocada por el hombre debido al desarrollo de sus actividades producen el color, turbiedad, sabores y olores, bacterias y otros microorganismos en el agua, que hasta ahora son mínimos.

Por otra parte, el crecimiento de las algas es un fenómeno común en los vasos de almacenamiento (23), y su desarrollo depende tanto de la luz que reciben como de la concentración de fosfatos y nitrógeno en el agua. Por lo que en aguas turbias, como la Presa Taxhimay, el desarrollo de las algas sea muy limitado, debido a la poca penetración de la luz y a la mínima concentración de fosfatos y nitrógenos en el agua de ésta presa.

GRUPO COLIFORME

MUESTRA	PRUEBAS PRESUNTIVAS EN 10 ml.	PRUEBAS CONFIRMA- TIVAS DE 10 ml.
PRESA TAXHIMAY	-----	----- NEGATIVO

C U E N T A T O T A L A 37° C

MUESTRA	DILUCION	COLONIAS POR ml.
PRESA TAXHIMAY	DIRECTA	121 Col/ml.

Límites Sanitarios normales

Cuenta total 0-200 Colonias/ml.

Grupo Coliforme Negativo

OBSERVACIONES: Las muestras antes reportadas se consideran micro-
biológicamente aptas para el consumo humano.

VII.3. RESULTADOS DE LA CLARIFICACION.

De acuerdo con los datos obtenidos mediante pruebas de clarificación, practicadas en diferentes fechas se pudo llegar a lo siguiente. Los datos tabulados nos determinan la sensibilidad del agua de esta Presa a los coagulantes más comúnmente usados: (Tabla 1 y 2).

- 1) Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 2) Sulfato Férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 3) Sulfato de Aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

Y Como Colaboradores de Estos:

- 4) Hidróxido de Calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- 5) Carbonato de Sodio (Na_2CO_3)

El fin primordial era conocer cual de estos productos químicos actuaba con mejores propiedades en la clarificación del agua de la Presa de Taxhimay.

Por medio de las experiencias efectuadas se llegó a encontrar que tipos de coagulantes ofrecían resultados satisfactorios; que cambiándolos con carbonato de sodio e hidróxido de calcio ó con hidróxido de calcio únicamente. Lo cual demostró una vez más, que hay un valor de pH óptimo para cada agua y coagulante.

Primeramente se utilizaron los coagulantes antes mencionados, con el propósito de conocer cual de ellos daba mejores resultados, se empezó a dosificar pequeñas cantidades de coagulante hasta dosis bastante grandes, determinando así el rango de dosificación óptima de coagulante. Después se efectuó un tipo de coagulación mixta, variando las dosificaciones de hidróxido de calcio y de carbonato de sodio, pero trabajando siempre dentro del rango de dosificación del coagulante. Pero en ciertos casos se experimentó con dosis menores con el fin de utilizar menos coagulantes.

Se rechazó la combinación de coagulante con Cal-Carbonato, ya que éstos reactivos provocaban en el agua

un alto contenido de dureza y un aumento considerable en el pH y por supuesto también en la alcalinidad del agua tratada. Por lo que se llegó a utilizar únicamente el coagulante y el hidróxido de calcio ya que esta combinación daba buenos resultados.

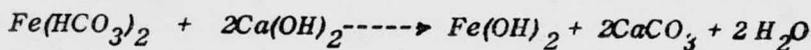
COAGULANTES USADOS:

1) Referente al sulfato ferroso con cal, el agua tratada adquiría un color verdoso quizás impartido por el fierro del sulfato ferroso; y el pH del agua aumentaba de 10.5 a 11.1.

Cuando el sulfato ferroso se agrega a un agua que contenga bicarbonato de calcio, la reacción inmediata, es la siguiente:

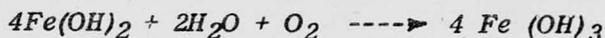


Después de agregarle cal:



Este hidróxido ferroso formado es un precipitado gelatinoso de acción análoga a la del sulfato de aluminio.

Sin embargo, es algo más soluble pero se oxida con el oxígeno disuelto en el agua, convirtiéndose en el hidrato férrico insoluble $Fe_2(OH)_6$ ó $Fe(OH)_3$.



En las pruebas efectuadas se notó que la acción del sulfato ferroso y cal no da resultados satisfactorios. Se ve que la cantidad requerida de coagulante aumenta con la turbiedad. El rango de pH es de 1.3 aproximadamente, para el agua cruda de la Presa de acuerdo con las experiencias.

2) Por otra parte, el sulfato férrico con hidróxido de calcio produce una buena clarificación teniendo turbiedades bajas de 4 a 11 U.J. y pH del orden de 7.4 a 9.2; pero el índice de Langelier es alto haciendo al agua muy corrosiva.

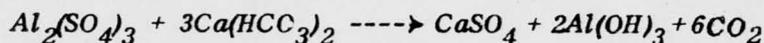
El sulfato férrico produce un buen flóculo con un amplio rango de valores de pH de 2.0 aproxima-

damente, lo que indica que tiene una gama mucho mayor que el sulfato ferroso. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



3) En cambio al utilizar el sulfato de aluminio e hidróxido de calcio, el agua se mantenía en un pH de 7.0 a 9.3 y con índices de Langelier que estaban dentro del rango establecido por las normas.

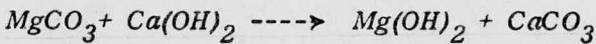
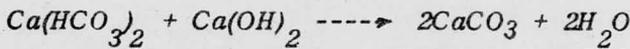
Es el coagulante mayormente utilizado para reducir el color y turbiedad. Cuando se añade sulfato de aluminio a una agua que contenga bicarbonato de calcio, tiene lugar la siguiente reacción:



El hidróxido de aluminio que es insoluble y coloidal, forma los flóculos. El flóculo resultante indicará

si se está utilizando la cantidad correcta de coagulante. Normalmente, el tamaño deseable de las partículas es de una "cabeza de alfiler".

4) El uso principal de la cal es proporcionar al agua cruda una alcalinidad artificial al agua que se va a tratar con un coagulante. Y es necesario, ya que el agua de la Presa de Taxhimay no contiene la alcalinidad natural suficiente como para usar únicamente el coagulante. La cal reacciona de la manera siguiente:



Por medio de la experiencia efectuada se notó, que la floculación "ferrica" es mucho más densa, que

la floculación con sulfato de aluminio, pero a pesar de ésta floculación densa el agua clarificada no era potablemente segura, como el agua tratada con sulfato de aluminio; como lo demuestran los análisis efectuados.

Estas pruebas indican que las reacciones de coagulación son complejas, que envuelven no solamente la unión directa de los iones coagulantes con las impurezas, sino también la formación de óxidos hidratados complejos.

Según los datos anteriores, el coagulante más conveniente para efectuar las pruebas de coagulación es el sulfato de aluminio, dado que el pH del agua tiene una variación de pH adaptable a este coagulante; sin tener necesidad de ajustarlo mediante adiciones de otras sustancias químicas a excepción de la cal.

La adición de coagulantes químicos, cuando son agregados a aguas alcalinas producen precipitados gelatinosos y pegajosos. De tal manera, que la partícula coloidal en suspensión es un aglomerador ó adsorbedor efectivo del flóculo que el coagulante que lo forma.

Se vió que los coagulantes utilizados, son más efectivos cuando son añadidos antes de la cal; una agua muy lodosa o sucia en la cual la turbiedad es debida a partículas cuarzosas requerirá menor cantidad de coagulante, que una agua cuya turbiedad es debida a partículas finas. También la presencia de compuestos inorgánicos, a la acidez o alcalinidad (es decir, el valor del pH), algunas veces impide la reacción de coagulación o causan muy baja reacción. Se notó que una sedimentación sin adición de coagulante no era efectiva para eliminar las partículas en suspensión, únicamente algunas partículas cuarzosas, de tal forma que fué necesario el uso de coagulantes, para incrementar el tamaño de la partícula que se encontraba finamente dividida y así obtener una sedimentación rápida.

Según Peterson y Bartow (21); Clark, Rice y Bartow (20), han demostrado que el efecto de varios aniones en la formación de flóculos, en aguas aparentemente similares en características, pueden responder en formas muy diferentes para un mismo método de tratamiento. Esto es particular-

mente cierto debido a la actividad del ión hidrógeno, en la cual se asegura una óptima formación de flóculos con una dosis dada de coagulante. El rango de formación de buenos flóculos es relativamente estrecha, y en algunos casos, el pH debe ser ajustado con precisión. Estos investigadores han demostrado en parte al menos en muchas aguas naturales, que los aniones presentes en el agua tratada particularmente los iones sulfato y cloruro, influyen en un grado notable en la zona de pH óptimo de formación de flóculos cuando se emplea sulfato de aluminio como coagulante.

El ión sulfato bivalente extiende la zona de pH óptimo de formación hacia el lado ácido y muy ligeramente hacia el lado alcalino, cuyo efecto aumenta, como podría ser esperado con incrementos de cantidades del ión sulfato. El ión cloruro monovalente tiene mucho menos influencia que el ión sulfato bivalente, esto amplía algo la zona de pH, y su efecto es algo mayor del lado alcalino que el ión sulfato.

En vista de los marcados efectos de los iones sulfato y cloruro en la zona de pH óptimo de formación de flóculos, pareció más deseable utilizar el coagulante de sulfato de aluminio que el cloruro férrico. Y para evitar que el pH se extendiera hacia el lado ácido, se adicionó hidróxido de calcio.

Uno de los requisitos importantes para una buena floculación y sedimentación de los sólidos suspendidos es la mezcla rápida de los reactivos y el agua, seguida de una mezcla lenta o floculación. Es esencial conservar el mismo orden de la adición de los reactivos en todas las pruebas. En las experiencias efectuadas primero se añadió el coagulante y con segundos de diferencia la cal.

El tiempo de formación de flóculos en función de la velocidad de agitación para el coagulante de sulfato de aluminio presenta la variación siguiente: Se nota que a una velocidad de 80 rpm, el tiempo de formación del flóculo fué de 60 segundos, en cambio, con una velocidad de 90 rpm, el

flóculo se formó en un tiempo de 45 segundos; por último a una velocidad de 100 rpm requirió 30 segundos para formarse el flóculo. Por lo tanto la velocidad adoptada fué de 100 rpm y se tomó como la velocidad de agitación rápida para todas las experiencias.

También se efectuaron pruebas con velocidad de 50 rpm requiriendo cinco minutos para la formación del flóculo, llegando a la conclusión de que a esta velocidad no es factible efectuar la experiencia.

Al hacer los experimentos, también se observó con cuidado el efecto de la agitación lenta. Los mejores resultados obtenidos fueron con agitación lenta a 5 rpm durante 15 minutos, la cual fué suficiente para mantener el flóculo en suspensión; pero sin disgregarlo, de modo que aumentara su tamaño y, a la vez se sedimentara en el centro del recipiente formando aglomeramientos bastante densos durante el transcurso de la agitación lenta o floculación.

Al finalizar la coagulación, se dejó al agua en un franco período de sedimentación, el cual varía de acuerdo con el tamaño del flóculo, pero sacando un tiempo promedio de sedimentación resultó ser de 15 a 25 minutos, para que el agua estuviese completamente clarificada y prácticamente todo el flóculo formado, bien sedimentado.

En sí, los factores que determinan la duración del proceso de clarificación son; el pH del agua cruda, la naturaleza de la materia en suspensión, la clase y cantidad de sales disueltas, la temperatura y la cantidad de coagulante empleado.

Otro tipo de experiencia efectuada para conocer la buena formación del flóculo fué la siguiente; variando los valores del pH en el agua natural, pero, con la misma dosificación de sulfato de aluminio. Se encontró que con el pH del agua natural y con una velocidad de agitación de 100 rpm el tiempo de formación del flóculo fué bastante rápido en comparación con las demás pruebas efectuadas a diferentes pH y a la misma velocidad de agitación de 100 rpm.

En cambio con los resultados obtenidos en medio ácido, no fueron satisfactorios ya que únicamente se logró alcanzar el límite de turbiedad permitido y valores de índice de Langelier fuera de las normas. Este índice de saturación de Langelier sirve para determinar la estabilidad del agua, además existe otro indicador que es el índice de estabilidad de Ryznar. Estos índices predicen la corrosividad o potencial de incrustaciones de una agua determinada y, pueden ser calculados a partir de la dureza, contenido mineral, alcalinidad, pH y temperatura.

El índice de saturación de Langelier es el valor pH actual del agua menos el pH de saturación del carbonato de calcio para la misma agua ($pH - pH_s$). Un valor positivo indica tendencia a formar incrustación y un valor negativo indica tendencia a producir corrosión.

Existen gráficas, nomogramas y calculadores especiales para estimar en forma rápida en cualquier agua cuyo análisis sea conocido (25), (26) y (27).

Los resultados de las pruebas de clarificación aportan lo siguiente:

Se llegó a un límite de dosificación aproximada de coagulante a un rango de pH, obteniendo mejores resultados con el coagulante de sulfato de aluminio, cuando el pH del agua se encuentra dentro del rango de 6.5 a 8.5, que por lo general es el intervalo de pH del agua natural. El agua de la Presa contiene una deficiencia de alcalinidad, lo cual fué necesario ajustar la dosis requerida con hidróxido de calcio.

Las cantidades adecuadas de coagulante e hidróxido de calcio de acuerdo con la mejor combinación y con el pH óptimo, son las que se encuentran dentro del intervalo de dosificación de 35 a 40 mg/l. para sulfato de aluminio y de 25 a 26 mg/l. para hidróxido de calcio, obtenido de esta forma una agua de calidad deseable.

Al agua clarificada se le procedió a hacer un análisis químico cuyos datos aparecen tabulados en la Tabla 4.

Se nota claramente en el análisis del agua clarificada; un incremento en la dureza de 33 mg./l. a 58 mg./l, no acarreado ninguna repercusión; eliminando casi completamente la turbiedad de 115 UJ a 6 UJ; se elimina también el color aparente del agua debido a las partículas coloidales en suspensión; la cantidad de sólidos totales disminuye de 180 ppm a 144 ppm; el pH del agua natural aumenta de 7.0 a 8.6; los sulfatos se incrementan en una cantidad mínima de 17 ppm a 19 ppm este incremento es normal y, se debe al coagulante de sulfato de aluminio; la alcalinidad sufre un cambio, pasando parte de los bicarbonatos a carbonatos, es decir, de 50 ppm de bicarbonatos a 41 ppm y presentando una cantidad de 12 ppm de carbonatos, y es normal ya que parte de los bicarbonatos al reaccionar se convierten en carbonatos, agua y desprendiendo dióxido de carbono y a su vez estos carbonatos reaccionan con el calcio, del hidróxido de calcio; el calcio se incrementa ligeramente de 7 ppm a 17 ppm, también se puede llegar a pensar que los iones calcio, reaccionan con ciertas sustancias contenidas en los sólidos totales.

T A B L A No. 1.

FEDHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
26 - V - 73	1	I II III	25 5 5	5 minutos 80 rpm	15 min. 60 rpm.	30 min.	Flóculo de tamaño regular. Toma coloración al añadir el floculante y queda verde el agua al finalizar la prueba.
26 - V - 73	2	I II III	30 15 10	15 minutos 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	35 min.	Con el coagulante el agua toma una apariencia de una buena coagulación, pero al añadir el floculante adquiere un color verde intenso, tomando el agua esta coloración, quizás sea por la cantidad de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ usado.
26 - V - 73	3	I II III	20 30 25	5 minutos 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	25 min.	Buena coagulación; iniciándose con la formación floculos finos e incrementado su volumen al adicionar el floculante; agrupándose los floculos en el centro del vaso y quedando el agua bastante clara.
26-V - 73	4	I II III	15 35 30	5 minutos 80 rpm.	15 min. 60 rpm	25 min.	Buena coagulación; buen inicio en la formación de floculos e incrementando su tamaño al añadir la Cal y Carbonato; agrupándose en el centro del vaso y finalmente, queda el agua clara.
9-VII-73	5	I II III	40 38 20	5 minutos 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	30 min.	No hay formación de floculos y los pocos que se forman son muy pequeños tomando el agua una coloración verde.

- A).- Prueba No.
 B).- Coagulante Químico
 C).- Cantidad ppm.
 D).- Tiempo y agitación de la mezcla.
 E).- Tiempo y agitación de la floculación
 F).- Tiempo de sedimentación
 G).- Observaciones durante la clarificación.

- I).- $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$
 II).- $Ca(OH)_2$
 III).- Na_2CO_3
 IV).- $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$
 V).- $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7 H_2O$

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
9-VII-73	6°	I II III	50 30 25	5 Min. 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	30 min.	formación de flóculos pequeños con la adición del coagulante y el floculante; pero en bastante cantidad, únicamente el agua toma una coloración verde clara.
9-VII-73	7°	I II III	25 60 25	5 Min. 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	25 min.	Formación de flóculos de buen tamaño y aglomerándose en el centro del vaso; que dando finalmente el agua bastante clara.
9-VII-73	8°	I II III	30 50 20	5 Min. 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	30 min.	Flóculos de buen tamaño y aglomerándose en el centro del vaso; pero el agua queda con algo de turbiedad.
19-VII-73	9°	I II III	25 55 25	5 Min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	20 min.	Buena coagulación con flóculos grandes y agua bastante clara.
19-VII-73	10°	I II III	15 40 15	5 Min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	45 min.	Buena coagulación con flóculos grandes y algunos pequeños en suspensión.
19-VII-73	11°	IV II III	50 30 30	5 Min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	50 min.	Regular coagulación, pero el flóculo formado es muy fino y poco aglomeramiento de éstos.
19-VII-73	12°	IV II III	60 30 25	5 Min. 80 rpm.	15 min. 60 rpm.	65 min.	Flóculos muy finos y esparcidos en todo el fondo del vaso; únicamente el agua queda bastante clara.
19-VII-73	13°	IV II III	45 40 25	5 Min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	45 min.	Flóculos de tamaño regular con algunos de finos en suspensión; agua bastante clara.
19-VII-73	14°	IV II III	40 40 20	5 Min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	45 min.	flóculo de tamaño regular con algo de finos en suspensión; agua bastante clara.

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
20 - VII - 73	15°	I II III	20 80 40	5 min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	15 min.	Formación de flocúlos bien definidos; con escasos en suspensión, y sedimentación muy rápida, agua bien clarificada.
20 - VII - 73	16°	I II III	15 50 30	5 min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	20 min.	Flocúlos bien formados y en el transcurso de la agitación aumentan de tamaño. Obteniendo una buena clarificación.
20 - VII - 73	17°	I II III	25 40 20	5 min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	15 min.	Coequilación muy buena aumentando el tamaño del flocúlo durante la floculación. Bastante clara el agua, con muy pocas coloides en suspensión.
20 - VII - 73	18°	I II III	10 50 20	5 min. 100 rpm.	15 min. 50 rpm.	25 min.	Flocúlos finos, conservándose del mismo tamaño durante la coagulación al finalizar quedan pocos en suspensión.
23 - VII - 73	19°	I II	20 40	5 min. 100 rpm.	15 min. 40 rpm.	25 min.	Flocúlos de buen tamaño; creciendo en la agitación y quedando el agua completamente clara al finalizar la prueba.
23 - VII - 73	20°	I II	30 20	5 min. 100 rpm.	15 min. 40 rpm.	30 min.	Flocúlos muy finos con algo de flocúlo de tamaño regular, pero predomina el fino en suspensión.
23 - VII - 73	21°	I II III	20 35 15	5 min. 100 rpm.	15 Min. 40 rpm.	10 min.	Flocúlo muy bueno y aglomerándose en el centro del vaso, durante el tiempo de floculación, agua con buena clarificación.
18 - VII - 73	22°	IV II	40 5	5 min. 100 rpm.	15 Min. 40 rpm.	25 min.	Flocúlo fino, con poca regular, al adicionar la cal continúa el mismo tamaño del flocúlo y al finalizar la prueba el flocúlo formado es fino el 80 %.
18 - VII - 73	23°	IV II	40 10	5 min. 100 rpm.	15 min. 15 rpm.	15 min.	Flocúlo regular, con algo de fino, a los 5' de la sedimentación casi se aclara todo el flocúlo, excepto el fino que queda en suspensión, a los 15' la sedimentación de flocúlo es casi completa.

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
15-XI-73	24°	IV II	25 40	5 Min. 80 rpm.	15 Min. 25 rpm.	20 Min.	Floculo fino en todo el proceso de la coagulación, pero aglomerandose en el centro del vaso.
15-XI-73	25°	IV II	30 40	5 Min. 80 Min.	3 Min. 40 rpm. 10 Min. 25 rpm.	20 Min.	Floculo fino con algo de regular sedimentandose casi completamente a los 10 min. de la sedimentación.
15-XI-73	26°	IV II	35 40	5 Min. 80 rpm.	3 Min. 40 rpm 10 Min. 25 rpm.	20 Min.	Floculo fino con algo de regular sedimentandose casi completamente a los 10 min. de la sedimentación.
15-XI-73	27°	IV II	45 40	5 Min. 80 rpm.	3 Min. 40 rpm. 10 Min. 25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño sedimentandose durante la floculación en el centro del vaso. Quedando el agua muy clara a simple vista.
15-IX-73	28°	IV II	50 40	5 Min. 80 rpm.	3 Min. 40 rpm 10 Min. 25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño sedimentandose en la floculación en el centro del vaso. Finalmente el agua queda con bastante claridad.
3-XII-73	29°	V II	40 5	3 Min. 100 rpm	15 Min. 20 rpm.	1.30 Min.	No hay formación de floculos escasamente -- uno que otro muy fino, quedando con color -- el agua.
3-XII-73	30°	V II	120 15	3 Min. 100 rpm	15 Min. 20 rpm.	60 Min.	Hay poca formación de floculos; dispersos en todo el fondo del vaso y el agua tiene -- un color verdoso.
3-XII-73	31°	V II	200 25	3 Min. 100 rpm	15 Min. 20 rpm.	30 Min.	Floculos de buen tamaño sedimentados en el centro del vaso, con algo disperso en el -- fondo y con muy poco color.

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
4-XII-73	32	IV II	40 0	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de flóculos aumentando su tamaño durante la floculación, quedando los --- flóculos en el fondo y en el centro del vaso; muy cristalina el agua. 8UJ. pH 6.2
4-XII-73	33	IV	80	3 Min.	15 Min.	20 Min.	El agua clarificada queda con color 50 UJ, - pH 5.3 (Agua No. 32)
4-XII-73	34	IV II	120 0	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de flóculos aumentando su tamaño durante la floculación, quedan los --- flóculos en el fondo y en el centro del vaso; muy cristalina el agua. 41 UJ. pH 4.9
4-XII-73	35	IV II	133 0	3 Min.	15 Min.	20 Min.	Buena formación de flóculos aumentando su tamaño durante la floculación, quedan los --- flóculos en el fondo y en el centro del vaso; muy cristalina el agua. 40 UJ. pH 4.7
4-XII-73	36	IV II	160 0	3 Min.	15 Min.	20 Min.	Buena formación de flóculos aumentando su tamaño durante la floculación, quedan los --- flóculos en el fondo y en el centro del vaso; muy cristalina el agua. 32 UJ. pH 4.6
4-XII-73	37	IV II	200 0	3 Min.	15 Min.	20 Min.	Buena formación de flóculos aumentando su tamaño durante la floculación, quedan los --- flóculos en el fondo y en el centro del vaso; muy cristalina el agua. 25 UJ. pH 4.5
5-XII-73	38*	IV II	40 5	3 Min.	15 Min. 20-24 rpm	15 Min.	Buena formación de flóculos desde el inicio de la agitación, hasta el término de esta --- aun que la sedimentación es lenta. Buena --- clarificación.
5-XII-73	39*	IV II	40 15	3 Min.	15 Min. 20-24 rpm.	15 Min.	Buena formación de flóculos desde el inicio de la agitación, hasta el término de esta aun que la sedimentación es lenta. Buena clarificación.
5-XII-73	40*	IV II	40 20	3 Min.	15 Min. 20-24 rpm.	15 Min.	La aparición del flóculo fue inmediata al --- agregar los reactivos, aumentando el tamaño --- del flóculo durante la agitación y durante --- el asentamiento del flóculo se aglomero en --- el centro formando un grupo denso y quedando --- bastante clarificada, sedimentación rápida.

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
5-XII-73	41*	IV II	40 30	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	La aparición del floculo fué inmediata - al agregar los reactivos, aumentando el tamaño del floculo durante la agitación y durante el asentamiento del floculo - se aglomera en el centro formando un -- grupo denso y quedan bastante clarifi- cado sedimentación rápida.
5-XII-73	42	IV II	50 10	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	25 Min.	Buena formación del floculo al agregar - el coagulante, acrecentando el tamaño -- del floculo al adicionar la cal y duran- te la floculación. Aunque los floculos se dispersan en el fondo del vaso y muy poco se agrupa en el centro del vaso. - 8 UJ. pH 7.2
5-XII-73	43	IV II	50 10	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	25 Min.	Buena formación del floculo al agregar - el coagulante, acrecentando el tamaño -- del floculo al adicionar la cal y duran- te la floculación. Aunque los floculos se dispersan en el fondo del vaso y muy poco se agrupa en el centro del vaso. -- 22 UJ. pH 8.2
5-XII-73	44	IV II	50 10	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	25 Min.	Buena formación del floculo al agregar - el coagulante, acrecentando el tamaño -- del floculo al adicionar la cal y duran- te la floculación. Aunque los floculos se dispersan en el fondo del vaso y muy poco se agrupa en el centro del vaso. -- 21 UJ. pH 8.6
5-XII-73	45	IV II	30 10	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	30 Min.	Buena formación del floculo, aunque no - son de buen tamaño; la sedimentación de los floculos es mala ya que se dispersan en el vaso y pocos son los que se aglo- meran en el centro. 17 UJ. pH 8.3
5-XII-73	46	IV II	30 20	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	33 Min.	Buena formación del floculo, aunque no - son de buen tamaño; la sedimentación de los floculos es mala ya que se dispersan en el vaso y pocos son los que se aglo- meran en el centro. 16 UJ. pH 9.1

Continuación Tabla 1.

FECHA DE LA PRUEBA.	A	B	C	D	E	F	G
5-XII-73	47	IV II	30 30	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	30 Min.	Buena formación del floculo, aunque no son de buen tamaño; la sedimentación de los floculos es mala ya que se dispersan en el vaso y pocas son las que se aglomeran en el centro. 10 UJ. pH 9.5
5-XII-73	48	V	40	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de floculo; la sedimentación es buena quedando el agua sin color, bastante clarificada. 5.0 UJ. pH 6.0
5-XII-73	49	V	80	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de floculos; la sedimentación es regular. Queda el agua color amarillento 59 UJ. pH 3.6
5-XII-73	50	V	120	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación del floculo; la sedimentación es buena quedando el agua sin color, bastante clarificada. 61 UJ. pH 3.5
5-XII-73	51	V	160	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.		Buena formación de floculo; la sedimentación es buena quedando el agua sin color, bastante clarificada 63 UJ. pH 3.1
5-XII-73	52	V	200	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de floculo la sedimentación es buena quedando el agua sin color, bastante clarificada 68 UJ. pH 3.1
5-XII-73	53	V	240	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	20 Min.	Buena formación de floculo; la sedimentación es buena quedando el agua sin color, bastante clarificada. 70 UJ. pH 3.0
6-XII-73	54*	V II	40 10	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño y la sedimentación es buena en el centro del vaso.
6-XII-73	55*	V II	40 15	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño y la sedimentación es buena en el centro del vaso.
6-XII-73	56*	V II	40 25	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño y la sedimentación es buena en el centro del vaso.
6-XII-73	57	V II	40 30	3 Min. 100 rpm.	15 Min. 20-25 rpm.	15 Min.	Floculo de buen tamaño y la sedimentación es buena en el centro del vaso.

TABLA No. 1b.
ANALISIS DE LAS AGUAS QUE MOSTRAN BUENA COAGULACION.

PRUEBA Núm.	pH		p.p.m. ALCALINIDAD TOTAL COMO CaCO ₃	TURBIDIDAD UJ	Ca ⁺⁺	D.T.	p.p.m.		TOTALES	INDICE LANGMUIR.
	Inicial	Final					CO ₂	SOLIDOS		
6	8.0	10.8	CO ₂ = 113 HCO ₃ = 42	---	12	49	---	---	---	---
7	8.0	11.6	CO ₂ = 670 HCO ₃ = 98	---	192	504	---	---	---	---
8	8.0	11.4	CO ₂ = 252 HCO ₃ = 44	---	56	168	---	---	---	---
9	7.7	10.0	CO ₂ = 137 HCO ₃ = 268	---	---	16	---	---	---	---
15	7.7	11.9	CO ₂ = 816 HCO ₃ = 17	---	---	294	---	---	---	---
16	7.7	11.4	CO ₂ = 408 HCO ₃ = 61	---	---	116	---	---	---	---
17	7.7	11.2	CO ₂ = 254 HCO ₃ = 37	---	---	466	---	---	---	---
18	7.7	11.5	CO ₂ = 336 HCO ₃ = 32	---	---	235	---	---	---	---
19	7.7	11.5	CO ₂ = 235 HCO ₃ = 22	---	---	14	---	---	---	---
20	7.7	11.2	CO ₂ = 134 HCO ₃ = 12	---	---	214	---	---	---	---
21	7.7	11.3	CO ₂ = 223 HCO ₃ = 32	---	---	294	---	---	---	---
22	7.7	6.6	HCO ₃ = 32	6	11.2	12	3.5	---	---	---
23	7.7	8.4	HCO ₃ = 7 H ₂ PO ₄ = 37	4	12	35	0	---	---	---
24	7.3	9.5	H ₂ PO ₄ = 30 HCO ₃ = 34	10	---	35	---	---	136	---
25	7.3	9.9	H ₂ PO ₄ = 33 HCO ₃ = 44	36	32	42	---	---	144	---
26	7.3	9.7	H ₂ PO ₄ = 26 HCO ₃ = 71	22	30	42	---	---	114	---

ANALISIS DE LAS AGUAS QUE MOSTRARON BUENA COAGULACION.

PRUEBA Num.	pH		ppm ALCALINIDAD TOTAL COMO CaCO ₃	TURBIDEDAD LJ	ppm					
	Inicial	Final			Ca++	D.T.	CO ₂	SOLIDOS	TOTALES	INDICE LANGKILER
27	7.3	9.5	CO ₂ = 38 HCO ₃ = 32	16	23	40	---	---	116	---
28	7.3	9.6	CO ₂ = 29 HCO ₃ = 51	19	56	100	---	---	166	---
38	7.3	7.0	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 28	3	11	---	1	---	80	- 0.9
39	7.3	8.1	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 41	9	17	---	8	---	102	- 0.6
40	7.3	8.4	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 46	9	19	---	7	---	100	- 0.5
41	7.3	9.3	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 62	6	28	---	---	---	116	- 0.2
54	7.3	7.4	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 26	4	10	---	10	---	80	- 0.9
55	7.3	7.9	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 34	8	13	---	8	---	70	- 0.7
56	7.3	8.8	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 44	10	18	---	7	---	90	- 0.5
57	7.3	9.2	ALCALINIDAD TOTAL CaCO ₃ 46	11	22	---	---	---	92	- 0.4

T A B L A N o. 2

CLARIFICACION PRESA "TAXHIMAY"

18 - ENERO - 1974

ph (7.8)

DOSIFICACION Al ₂ SO ₄)		PRUEBA	1	2	3	4	OBSERVACION.
mg./l.	Ca(OH) ₂ mg./l.		VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	VELOCIDAD 15 RPM. 20 Min.			
100	0	1	3'	5' se formo el flóculo de tamaño regular. 10' Contin. flocc. reg. 15' Contin. flocc. reg.	1'	10' el asentamiento es completo aglomerándose los flóculos en el centro del vaso.	Turbia
95	2	2	3'	5' flóculo regular 10' Continua regular 15' Continua regular	1'	10' asentamiento completo aglomerándose en el centro del vaso.	Turbia
90	4	3	3'	5' flóculo fino 10' Mejora el flóculo a reg. con algo de fino. 15' todo el flóculo aumenta su tamaño.	1'	10' asentamiento completo, pero el flóculo está está esparcido en el vaso.	Turbia
85	6	4	3'	5' formacion flóculo fino. 10' mejora el tamaño - flocc. con algo de fino. 15' Mejora pasando todo el flocc. a reg.	1'	10' asentamiento completo con poco flóculo en suspensión.	Turbia.
80	8	5	3'	5' flóculo fino 10' mejora el tamaño a reg. con algo fino 15' mejora todo el flóculo a reg. 5' flóculo bastante.	1'	15' asentamiento completo aglomerándose el flóculo en el centro, pero con algo de suspensión.	Poco turbia.
75	10	6	3'	5' flóculo bastante - tueno. 10' mejora su tamaño 15' mejora su tamaño - teniendo a sedimentarse durante la agitación.	0.20'	15' asentamiento casi completo, quedando muy poca cantidad de flóculos en suspensión (fina)	Transparente.

DOSIFICACION.		PRUEBA.	VELOCIDAD		3	4	OBSERVACIONES.
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ mg./l.	$Ca(OH)_2$ mg./l.		100 rpm. 2 Min.	5rpm. 20 Min.			
70	12	1	1 Min.	5' formación floc. bueno -- 10' el floc. más grande tien de aglomerarse en el --- centro, pero hay algo de floc. fino suspendido. 15' Continúa el floc. mayor aglomerándose centro.	20 seg.	15' la sedimentación casi completa, todo el floc culo formado se aglo- mera en el centro, -- pero con bastante floc culo suspendido.	El agua clarifica-- da presenta algo de turbiedad que es -- notoria.
65	14	2	1 Min.	5' formación floc. bueno. 10' bastante floc. aglomere-- do en el centro, con --- algo de floc. en suspen- sión.	20 seg.	15' la sedimentación casi completa, todo el floc culo formado se aglo- mera en el centro, -- pero con bastante floc culo fino.	El agua clarifica-- da presenta algo de turbiedad que es -- notoria.
60	16	3	1 Min.	5' Flóculo bueno, tendien- do a sedimentarse en el centro, durante la agi- tación. 10' Continúa sedimentando - el flóculo, pero con -- algo de fino susp.	0.20 seg.	15' Sedimentación casi com- pleta el flóculo se -- aglomera en la parte - centro del vaso, pero el flóculo fino en -- suspensión es mucho menor que en las an- teriores.	El agua clarifica-- da presenta algo de turbiedad que es -- notoria.
55	18	4	1 Min.	5' Flóculo muy bueno, sedi- mentándose durante la -- agitación en la parte cen- tral del vaso. 10' Continúa la sedimenta- ción con poco floc. fino en suspensión.	20 seg.	15' Sedimentación casi com- pleta el flóculo se -- aglomera en el parte - centro del vaso, pero el flóculo fino en -- suspensión es mucho menor que en las an- teriores.	El agua clarifica-- da presenta algo de turbiedad que es -- notoria.
50	20	5	1 Min.	5' Flóculo muy bueno, sedi- mentándose en el centro -- aun durante la agitación lenta. 10' Continúa la sedimenta- ción en el centro, pero con algo floc. susp.	20 seg.	15' Sedimentación casi com- pleta, aglomerándose -- el flóculo en el cen- tro del vaso, pero con poquísimo flóculo fino	Turbiedad= 22 UJ. pH = 8.8 presenta buen es- pecto al flóculo y el agua clarificada

Continuación Tabla 2.

18 - Enero - 74.

DOSIFICACION.		PRUEBA.	1	2	3	4	OBSERVACIONES.
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ mg./l	$Ca(OH)_2$ mg./l		VELOCIDAD 100 rpm. 2 Min.	VELOCIDAD 5 rpm. 20 Min.			
45	22	6	1 Min.	5' Flóculo muy bueno, sedimentando en el centro, - durante la agitación. 10' Continua la sedimentación pero existe algo flóc. - fino en suspensión.	20 seg.	15' Sedimentación casi completa, aglomerándose en el centro -- del vaso, pero con -- poquísimos flóculos -- fino en suspensión.	Turbiedad= 47 UJ pH = 9.1 presenta buen aspecto el flóculo y el agua clarificada.

DOSIFICACION.		PRUEBA.	1	2	3	4	OBSERVACIONES.
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ mg./l	$Ca(OH)_2$ mg./l.						
40	24	1	1.45'	5' flóculo muy bueno, bastante grande, sedimentándose en el centro durante la agitación. 10' Continúa la sedimentación en el centro.		15' el flóculo se sedimentó en el centro, con poquísima cantidad flóc. finos en suspensión; el flóculo es grande.	Bastante buena con poca turbiedad a la vista. 17 U.J. pH = 8.5
35	26	2	1.45'	5' flóculo muy bueno, sed. en el centro, con algo de flóc. esparcido en el fondo. 10' Continúa sedim. y los flóc. esparcidos se aglomeran centro.		15' el flóculo se sedimentó en el centro, con poquísima cantidad flóc. finos en suspensión; el flóculo es grande.	Bastante buena.- 17 U.J. pH = 8.8
30	28	3	1.45'	5' flóculo bueno, aglomerándose en el centro, y esparcido. 10' Continúa la sedim. aglomerándose los flóculos que estaban esparcidos.		15' el flóculo se sedimentó en el centro, con poquísima cantidad flóc. finos en suspensión; el flóculo es grande.	Bastante buena pero con un poco más de turbiedad que las 2 anteriores. 27 U.J. pH = 9.1
25	30	4		Se forma después de añadir cal, en 10' flóculo n.º 10' Continúa la sedimentación del flóculo a menor escala.		15' el flóculo sedimentado se de aspecto muy fino.	
20	32	5		No hay formación de flóculo n.º 10' No hay formación flóculos. después de añadir Cal. $Ca(OH)_2$		15' No hay formación de flóculo por lo tanto ni sedimentación.	

Continuación Tabla 2.

18 - ENERO - 1974.

DOSIFICACION.		PRUEBA.	1	2	3	4	OBSERVACIONES.
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ mg./l	$Ca(OH)_2$ mg./l						
15	34	6	Se floccula 5' después de añadir el $Ca(OH)_2$ pero un $\frac{1}{2}$ floculo --- muy fino.	5' formación de flócu- lo fino poco percepti- ble sin llegar a sedimentarse en la agitación. 10' continúa igual que en los 5 Min.	-	15' No sedimento nade - aun de haberse formado un flóculo muy fino.	

DOSIFICACION.		PRUEBA.	VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	1 VELOCIDAD 5 rpm. 20 Min.	2	3	4	OBSERVACIONES.
Alumbre	Cal							
70	16.5	1	1'	5' Flóculos bien formados aglomerándose en el centro durante agitación algo turbia. 10' Igual a 5' 15' Igual a 5'	2'		15' Flóculo bien formado pero queda turbia el agua, sin flóculos en suspensión.	Algo turbia, quizá debido al coagulante.
60	20.5	2	1'	5' Flóculo bien formado - aglomerándose centro - algo turbia. 10' Igual 5' 15' Igual 5'	2'		15' Flóculo bien formado aglomerándose en el centro, quedando algo turbia el agua. Flóculos sin suspensión.	Algo turbia quizá debido al coagulante.
50	24.5	3	1'	5' Flóculos regulares y aglomerándose centro algo clara. 10' Igual 5' 15' Igual 5'	2'		15' Flóculos aglomerados en el centro del vaso; con algo, muy poca de turbiedad, poquísimos flóculos en suspensión.	Poca turbiedad. Es la mejor, poca c lor. 15 UJ pH = 8.5
40	28.5	4	1'	5' Flóculo bien formados aglomerados centro y agua clara. 10' Igual 5'	2'		15' Flóculos agomerados en el centro, pero con algo de flóculos finos en suspensión.	Poca turbiedad. Es la mejor debida a su poca c lor. 12.5 UJ. pH = 8.4
30	32.5	5	1'	5' Flóculos bien formados aglomerándose centro con algo color. 10' Igual 5' 15' Igual 5'	2'		15' Flóculos agomerados en el centro con algo de color.	Algo turbia. 15 UJ. pH = 9.0
20	36.5	6	No flóculos ni con la cal.	5' No hay formación flóculos. 10' Igual 5' 15' Igual 5'			15' No hay flóculos.	Muy turbia.

DOSIFICACION.		PRUEBA.	1 VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	2 VELOCIDAD rpm 20 Min.	3	4	OBSERVACIONES.
Alumbre mg/l	Cal. mg./l						
46.3	0	1	1'	5' Flóculos finos sedimentándose en el centro - los flóculos más grandes. 10' Aumenta el tamaño flóc. y hay mayor flóc. sedimentado y poco flóc. -- fino en suspensión.	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	Algo turbia debido quizá al exceso de coagulante y no hay presencia de álcalis. 90 UJ. pH = 6.4
43	1.3	2	1'	5' flóculos finos sedimentándose en el centro - los flóculos más grandes. 10' Igual (1)	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	9 UJ pH = 6.4
40	2.4	3	1'	5' flóculos finos sedimentándose en el centro - los flóculos más grandes. 10' Igual (1)	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	10 UJ. pH = 6.4
38	3.3	4	1'	5' flóculos finos sedimentándose en el centro - los flóculos más grandes. 10' Igual (1)	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	10 UJ. pH = 6.5
35	5	5	1'	5' flóculos finos sedimentados en el centro --- flóculos más grandes. 10' Igual (1)	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	11 UJ pH = 6.5
30	6.5	6	1'	5' flóculos finos sedimentados en el centro. 10' Igual (1)	0.45'	15' flóculo muy fino en suspensión y flóculo fino abunda en la sedimentación.	Muy poco turbia. 15 UJ pH = 6.6

Continuación Tabla 2.

D O S I F I C A C I O N .		PRUEBA	1 VELOCIDAD 100rpm. 3'	2 VELOCIDAD 5 rpm. 20 Min.	3	4	OBSERVACIONES FECHA DE CLA- SIFICACION - 74	
Alumbre mg./l.	Ca l . mg./l.							
40	29	1	1.30'	5' Flóculo de buen tamaño, aglomerándose centro con algo flóculo suspendido. 10' Hay mejor sedimentación y poco flóc. suspendido clara el agua.			15' flóculo en suspensión fino muy poco, el flóculo sedimentación buena. Se nota muy poco turbia a la vista. 25' sedimenta completamente.	pH = 8.5 Turbiedad = 49
39	30	2	1.30'	5' flóculo bueno aglomerándose centro, con bastante flóc. susp. 10' hay mayor sedimentación y poco flóc. susp. -- clara el agua.			15' flóculo sedimentado -- muy bueno, poquísimo flóculos finos en suspensión. 25' sedimenta completamente.	pH = 8.9 Turbiedad = 49
38	31	3	1.30'	5' flóculo bueno aglomerándose centro, flóculo bastante susp. 10' flóculo muy poco suspensión y más sedimentado. Clara el agua.			15' flóculo sedimentado -- muy bueno, poquísimo flóculo fino en suspensión. 25' sedimenta completamente.	pH = 9.2 Turbiedad = 51
37	32	4	1.30'	5' flóculo bueno aglomerándose centro, bastante flóc. susp. 10' Igual anterior. Clara el agua.			15' flóculo sedimentado -- muy bueno, poquísimo flóculo fino en suspensión. 25' sedimenta completamente.	pH = 9.2 Turbiedad = 48
36	33	5	1.30'	5' flóculo buen tamaño -- aglomerando al centro bastante flóc. en suspensión. 10' Igual al anterior. -- clara el agua.			15' flóculo sedimentado -- muy bueno, poquísimo flóculo fino en suspensión. 25' sedimenta completamente.	pH = 9.2 Turbiedad = 49
1100	20	6		5' flóculo muy fino con bastante turbiedad. 10' aumentó un poco el tamaño y hay un poco más de sedimentación. -- clara el agua.			15' flóculo fino en suspensión y el sedimenta al ser agitado en el agua. 25' flóculo fino en suspensión.	178.

Continuación Tabla 2.

CLARIFICACION PRESA "TAXHIMAY"

26 - MARZO - 1974.-

pH (7.0)

DOSIFICACION		PRUEBA.	1 VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	2 VELOCIDAD 2 rpm. 15 Min.	3	4	OBSERVACIONES: fecha clarificación: 29 - III - 74
Alumbre mg/l.	C = 1 mg./l.						
38	24	1	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' floculos regulares con algo de fino en suspension presenta turbiedad.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	presenta un poco de turbiedad. 10' sedimentación floculo fino susp. pH = 8.5 Turb. = 51 - 25 UJ.
38	25	2	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' Igual al anterior.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	Algo turbia. 10' sedimentación floculo fino susp. pH = 8.5 Turb. = 24 = 16 UJ.
38	26	3	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' Igual al anterior.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	Algo turbia. 10' sedimentación floc. fino en susp. pH = 8.6 Turb. = 20 = 11 UJ.
38	20	4	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' floculos regulares con algo de fino en susp. No presenta turbiedad.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	Pocasima turbiedad a la vista. 10' sedimentación floc. fino susp. pH = 8.1 Turb. = 14 = 8 UJ.
38	10	5	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' Igual al anterior.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	10' Sedimentación floculo fino en suspension. pH = 7.1 Turb. = 7 UJ.
38	5	6	1.5'	5' floculos regulares con algunos ya sedimentados y algunos floculos finos en suspension. 10' Igual al anterior.		15' floculos finos en suspension despues de la sedimentación.	Color verdoso leve 10' sedimentación floculo fino en suspension. 1 hora sedimentación floculo muy fino en poca cant. pH = 7.0 Turb. = 10 UJ

172

DOSIFICACION		PRUEBA	1		2		3	4	OBSERVACIONES: Fecha clarificación: 28-III-74
Alumbre mg/l.	Cl. - mg./l.		VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	VELOCIDAD 5 rpm. 15 Min.					
40	27	1	1'	5' Flóculos bien formados con bastante aglomerados en el centro. 10' Aumenta el flóc. sedimentado únicamente hay flóc. regulares en sedimentación durante la agitación.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.6 Turb. = 30 = 16 UJ.		
39	26	2	1'	5' Flóculos bien formados con bastante aglomerados en el centro. 10' Igual al anterior.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.7 Turb. = 26 = 13 UJ.		
38	25	3	1'	5' Flóculos bien formados con bastante aglomerados en el centro. 10' Igual al anterior.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.6 Turb. = 19 = 10 UJ. Presenta a la vista menos turbiedad que las demás.		
35	24	4	1'	5' Flóculos regulares con algo de finos. 10' Flóculo fino con regular en suspensión que aumenta su tamaño con la agitación lenta.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.7 Turb. = 29 = 16 UJ.		
33	22	5	1'	5' Flóculos regulares con algo de finos. 10' Flóculo fino con regular en suspensión que aumenta su tamaño con la agitación lenta.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.6 Turb. = 29 = 16 UJ.		
30	20	6	1'	5' Igual al anterior. 10' Igual al anterior.	1'	15' Sedimentación casi completa el flóculo sedimentado es regular aglomerándose en el centro, mostrando algo de turbiedad.	pH = 8.4 Turb. = 46 = 25 UJ.		

Continuación Tabla 2.

DOSIFICACION:		PRUEBA.	1 VELOCIDAD 100 rpm. 3 Min.	2 VELOCIDAD 15 rpm. 5 Min. 5 rpm. 5 Min. 3 rpm. 5 Min.	3	4	OBSERVACIONES: Fecha clorifica- ción: 1 - Iv - 74
Alumbre mg./l.	Ca (Cl) ₂ mg./l.						
39	25	1	2'	5' Floculos regulares con algo de finos. 10' Floculo fino con regular en suspensión que aumenta su tamaño con la agitación lenta.		10' la sedimentación es completa del 98 % quedando poca cantidad de floculos finos en suspensión. 15' sedimentación completa --- 100%	
38	25	2	2'	5' Igual al anterior. 10' Igual al anterior.		15' sedimentación completa --- 100 %	
35	26	3	2'	5' Igual al anterior. 10' Igual al anterior.		15' sedimentación completa --- 100 %	

Nota: Observaciones para las pruebas 1, 2 y 3, arriba citadas, son similares a pesar de tener dosificaciones variables.

- 5' Durante la agitación - lenta de 5 ' Min. a -- 15 rpm. los floculos - formados estar bastante buenos y bien formados y grandes.
- 10' Al variar la velocidad de 15 rpm. a 5 rpm. el asentamiento es inverso: va hacia el centro del vaso; quedando muy poco floculo en suspensión - pero este es de buen tamaño, posiblemente se sedimenta con el transcurso del tiempo, el floculo formado en el asentamiento es excelente.
- 15' Aumenta la sedimentación del floculo.

Tabla 3.

PRUEBAS EFECTUADAS CON SULFATO DE ALUMINIO E
 HIDROXIDO DE CALCIO, POR MEDIO DE LAS CUALES
 SE LLEGO A DETERMINAR LA DOSIS REQUERIDA.

<i>Dosificación</i>			
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ppm	Ca (OH) ₂ ppm	Fecha	pH
75	10	18-I-1974	7.8
50	20	18-I-1974	8.8
45	22	18-I-1974	9.1
40	24	18-I-1974	8.5
30	28	18-I-1974	9.1
40	28.5	19-II-1974	8.4
30	32.5	19-II-1974	9.0
40	2.4	19-II-1974	6.4
38	3.3	19-II-1974	6.5
35	5	19-II-1974	6.5
40	29	28-III-1974	8.5
39	30	28-III-1974	8.9
37	32	28-III-1974	9.2
36	33	28-III-1974	9.2
38	20	29-III-1974	8.1
38	10	29-III-1974	7.1
38	5	29-III-1974	7.0
39	25	1-IV-1974	8.7
38	25	1-IV-1974	8.6
35	26	1-IV-1974	8.7

Tabla 4.

Muestra	1	2	3	
Fecha de clarificación	1 ^a - IV - 1974	1 ^a - IV - 1974	1 ^a - IV - 1974	
Dosificación: $2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	39 mg./l.	38 mg./l.	35 mg./l.	
Ca (OH) ₂	25 Mg./l.	25 mg./l.	26 mg./l.	
Análisis del agua clarificada en las condiciones óptimas en ppm.			Análisis del agua cruda en ppm.	
Muestra	1	2	3	
	8.7	8.6	8.7	7.0
$\bar{4}$	20 ppm	19 ppm	17 ppm	17 ppm
$\bar{3}$	12 ppm	12 ppm	10 ppm	0 ppm
O_3^-	44 ppm	41 ppm	41 ppm	50 ppm
-	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm
++	17 ppm	17 ppm	15 ppm	7 ppm
2	0 ppm	0 ppm	0 ppm	5 ppm
Total	56 ppm	58 ppm	56 ppm	33 ppm
. Totales	102 ppm	144 ppm	94 ppm	180 ppm
rbiedad	10 U.J.	8 U.J.	16 U.J.	115 U.J.

VIII.- CONCLUSIONES.

Desde el punto de vista químico y tomando como norma los límites fijados por las autoridades sanitarias, se puede concluir que las aguas en estudio se encuentran dentro de dichos límites y por consiguiente pueden emplearse en el suministro a la Ciudad de Tula Hidalgo, y ser susceptibles de potabilización; a continuación se deduce lo siguiente:

- 1º) La toma de agua debe estar a la salida de la "obra de toma" y sobre el vertedor de la Presa, en épocas de estiaje y de avenidas respectivamente.
- 2º) La cantidad de agua requerida a corto plazo para la zona en estudio es de $1.7 \text{ m}^3/\text{seg.}$, para uso municipal como industrial; con la posibilidad de incrementarse el suministro hasta $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, que viene siendo la cantidad controlable de agua superficial en la Presa de Taxhimay.

- 3^o) *Se observó que el coagulante de sulfato de aluminio con hidróxido de calcio, logra buenas condiciones de coagulación y no se debió buscar otro medio más complejo de tratamiento, quedando establecido que es posible obtener buenos resultados con el método de tratamiento combinado que es el de clarificación, es decir, coagulación, floculación y sedimentación.*
- 4^o) *La cantidad necesaria de coagulante según pruebas realizadas se encuentra dentro del intervalo de dosificación de 35 a 40 mg/l de sulfato de aluminio y de 25 a 26 mg/l de hidróxido de calcio, obteniendo de esta forma una agua de calidad deseable.*
- 5^o) *La velocidad rápida requerida para estas clarificaciones es de 100 rpm. durante 3 minutos, y velocidades bajas que van de 15 rpm durante 5 minutos, 5 rpm durante 5 minutos y 3 rpm durante 5 minutos, la finalidad de estas velo-*

idades lentas es con el fin de que el flóculo se aglomere en el centro y no llegue a disgregarse. El tiempo total de agitación (clarificación y floculación) se efectúa en 18 minutos, y para que la sedimentación sea completa, se necesitan solo 15 minutos aproximadamente. Por lo tanto el tiempo total de clarificación y sedimentación es de 33 minutos.

- 6²) *Los problemas relativos a organismos microscópicos, como son las algas y otros organismos planctónicos, no son perjudiciales en el tratamiento.*
- 7²) *Se recomienda que el agua almacenada en la Presa de Taxhimay, deberá de conservarse y protegerse de toda contaminación, como hasta la fecha se ha venido realizando, y en caso de que se llegara a presentar corrientes de aguas contaminadas afluentes a la Presa, debe interpretarse como*

una señal para investigar estos canales de contaminación, evitando así la mezcla con las aguas superficiales almacenadas.

Es necesario mencionar y sería cuestión de otro estudio la elección del tipo de planta más conveniente, desde el punto de vista funcional como económico, así como el lugar de ubicación de la Planta Potabilizadora, de la probable localización de los acueductos y estaciones de rebombeo necesarios, para que estas unidades queden debidamente conectadas a la red de distribución.

Este trabajo se basó únicamente en el estudio de la zona, en las características físico-químicas, bacteriológicas y en las pruebas de coagulación y sedimentación para determinar la índole y las cantidades de los productos químicos necesarios.

TABLA DE CONTENIDOS LIMITE POR EL REGLAMENTO FEDERAL SOBRE OBRAS DE PROVISION DE AGUA POTABLE EN VIGOR ACTUALMENTE EN MEXICO.

Turbiedad: No excederá del número de 10 (diez) de la escala de sílice (1).

Color: No excederá del número de 20 (veinte) de la escala de platino - cobalto (2).

A alcalinidad total, expresada como CaCO_3 , hasta-----	400
Dureza total, expresada como CaCO_3 , hasta-----	300
Hierro y manganeso, expresado como Fe y Mn, hasta-----	0.30 (3)
Sodio calculado, expresado con Na, hasta-----	400 (4)
Sulfato, expresados en SO_4^{2-} , hasta-----	250
Cloruro, expresados en Cl^- , hasta-----	250
Fluoruros, expresado en F^- , hasta-----	1.50 (5)
Indice de saturación mayor de-----	-0.5 (6)
Indice de saturación mayor de-----	+0.5 (7)

Fuente: Tomado en S.A.H.O.P., Antes S.R.H. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado.

Nota: Con excepción de la turbiedad, color y el índice de saturación; todos los valores están expresados en partes por millón. Los índices nos indican -0.5 aguas corrosivas y +0.5 aguas incrustantes.

Valores: (1), (2) y (3). Internamente, se han aceptado los valores que marcan las normas internacionales y de los Estados Unidos para agua potable y que son:

— Turbiedad-----	5	UJ	(Unidades Jackson)
— Color-----	10	UPt-Co	(Unidades de color en escala platino cobalto).
— Hierro-----	0.3	ppm.	
— Manganeso-----	0.05	ppm.	

IX.- BIBLIOGRAFIA.

- (1) S.I.C. Dirección General de Estadística. IX Censo General de Población. 1970 Estado de Hidalgo, México, D. F. 1971.
- (2) Revista Mexicana del Petróleo. Página 11-16. México, D. F.
- (3) S.A.R.H. - C.A.V.M. Lineamientos Generales del Plan Hidráulico para la Cuenca del Valle de México. (Alternativa 1960-1990). Noviembre 1966, México, D.F.
- (4) APHA, AWWA Y WPCF. Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater. Twelfth Edition. (1965).
- (5) IBID.
- (6) ASTM. Manual on Industrial Water and Industrial Wastewater. Second Edition. (1966).
- (7) W. Allan Moore, W.W. Walker. Analytical Chemistry Vol. 28, No. 2, Pág. 164-167. Febrero 1956.
- (8) W. Allan Moore, R.C. Kroner, y C.C. Ruchhoft. Analytical Chemistry. Vol. 21, No. 8, Pág. 953-956. Agosto 1949.
- (9) R.A. Dobbs, y R.T. Williams. Analytical Chemistry. Vol. 35, No. 8, Pág. 1064-1067. Julio 1963.

- (10) ✓ Foster D. Snell y Cornelia T. Snell. *Colorimetric Methods Analysis*. Vol. I, 3^a Edición. D. Van Nostrand Co. Inc. (1956).
- (11) Manpower Development Staff, *Boletín U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Programs*.
- (12) ✓ American Water Work Association. *Agua su Calidad y su Tratamiento*. Ed. "UTEHA". 1968.
- (13) ✓ E.W. Feller. *Power Boletín Especial*. Pág. 63-98. Diciembre 1947.
- (14) ✓ *Water and Sewage Water*. *Boletín Especial*. Pág. R-95 R-98. Diciembre 1955.
- (15) ✓ William H. Merrill, Jr. *Water and Wastes Engineering* Pág. 42-44. Enero 1970.
- (16) ✓ Manual Betz. *Industrial Water Conditioning*. Pág. 27-34. (1958).
- (17) ✓ Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, *Manual de Tratamiento de Aguas*. Albany 4^a Edición. Editorial Limusa. (1974).
- (18) ✓ Babbitt y Doland. *Water Supply Engineering*. 6^a. Edition. Editorial McGraw-Hill. (1954).
- (19) ✓ Clair N. Sawyer y Perry L. McCarty. *Chemistry for Sanitary Engineers*. 2^a. Edición. Editorial McGraw-Hill. (1967).
- (20) ✓ A.P. Black, Owen Rice y Edward Bartow. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 25, No. 7, Pág. 811-815. Julio 1933.

- (21) Ben H. Peterson y Edward Bartow. *Industrial and Engineering Chemistry*. Vol. 20, No. 1, Pág. 51-55, Enero 1928.
- (22) S.A.R.H. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado. *Reglamento Federal de Obras de Provisión de Agua. Mapas de Calidad del Agua en México*. (1973).
- (23) C. Marvin Palmar. *Algas en Abastecimiento de Aguas*. 1^a Edición. Editorial Interamericana. (1962).
- (24) Roldán Flores Dámaso, Facultad de Ingeniería, UNAM. *Anteproyecto de una Presa sobre el Río "Tepeji" en el Estado de Hidalgo, para fines de abastecimiento de agua potable al Valle de México*. (Tesis Profesional 1966).
- (25) F.H. Pérez Mata. *Ingeniería Química*. Pág. 10-17. Abril 1962.
- (26) Armando Blancq-Cazaux. (IMIQ) Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. Pág. 12-22. Noviembre 1971.
- (27) J. Catalán Lafuente. *Química del Agua*. 1^a Edición. Editorial Blume. (1969).