

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

TESIS PROFESIONAL

**ARCILLAS COMO MEDIO ADSORBENTE PARA REDUCCIÓN DE
TURBIDEZ DE AGUA POTABLE**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ANDREA ITZEL LÓPEZ NATARET

DIRECTORES DE TESIS

DR. EMILIO HERNÁNDEZ BAUTISTA

DR. IVÁN ANTONIO GARCÍA MONTALVO

COMISIÓN REVISORA

MC. AYMARA JUDITH DIAZ BARRITA

MC. MARÍA DE JESÚS GIL GALLEGOS

OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

MARZO 2024

ÍNDICE

	página
RESUMEN	10
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL MUNDO.....	14
2.2. DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN MÉXICO	23
2.2.1. <i>Principales Usos del Agua en México</i>	23
2.3. DEFINICIÓN DE AGUA POTABLE.....	47
2.4. DEFINICIÓN DE AGUA PARA LA INDUSTRIA	52
2.5. PROCESO DE ADSORCIÓN	60
2.6. INTERCAMBIO IÓNICO.....	64
CAPITULO III. ANTECEDENTES.....	68
CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	71
CAPITULO V. OBJETIVOS	73
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	73
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	73
CAPITULO VI. JUSTIFICACIÓN	74
CAPITULO VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	76
7.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE Y DE LA CALDERA	76
7.1.1. <i>Dureza</i>	76
7.1.2. <i>Sólidos sedimentables</i>	81
7.1.3. <i>Acidez y alcalinidad</i>	82
7.1.4. <i>pH</i>	88
7.1.5. <i>Conductividad</i>	89
7.1.6. <i>Turbidez</i>	94
7.2. TAMIZADO DE LA ARCILLA	95
7.3. OBTENCIÓN DE LAS CINÉTICAS E ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.....	96
7.4. MODELOS A LOS QUE SE AJUSTARON LOS DATOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN ..	104
CAPITULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	105
DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN MUESTRAS DE AGUA POTABLE Y DE LA CALDERA.....	105
OBTENCIÓN DE LAS CINÉTICAS E ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	111
CAPITULO IX. CONCLUSIÓN	121
ANEXOS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
figura 2.1 Distribución de agua en el mundo (leyva, 2015).....	14
figura 2.1.1 Porcentaje de agua en la tierra (leyva, 2015).	15
figura 2.1.2 Interrelación entre la variabilidad de la precipitación y latitud (morgan, 2011).	16
figura 2.1.3 Fuentes de suministro de energía, 2008 (morgan, 2011).	20
figura 2.1.4 Capacidad de almacenamiento per cápita en países seleccionados (m3/hab) (morgan, 2011).	21
figura 2.1.5 Tarifas domésticas de agua potable, saneamiento e impuestos asociados al servicio en algunas ciudades del mundo (tarifa en pesos/m3 para un consumo de 15 m3/mes) (morgan, 2011).	23
figura 2.2 Distribución de agua en México (natividad, 2023).	24
figura 2.2.1 Consumidores de las concesiones de agua (natividad, 2023).	25
figura 2.2.2 Balance de agua en México 2017 (león, 2018).	27
figura 2.2.3 Principales ríos y lagos de México, 2017 (león, 2018).	29
figura 2.2.4 Disponibilidad natural media, población y PIB en México, 2016 (león, 2018).	30
figura 2.2.5 Contrastes regionales entre el agua renovable y el desarrollo nacional, 2017 (león, 2018).	31
figura 2.2.6 Volumen de agua almacenado en las principales presas del país, 2004-2017 (león, 2018).	32
figura 2.2.7 Presas más grandes del país por región hidrológico-administrativa, 2017 (león, 2018).	32
figura 2.2.8 Volumen de agua concesionado por sector, 2001-2017 (león, 2018). .	33
figura 2.2.9 Volumen de agua concesionado por región hidrológico-administrativa y origen, 2017 (león, 2018).	34
figura 2.3 Volumen de agua concesionado por uso consuntivo según origen, 2001-2017 (león, 2018).	35
figura 2.3.1 Volumen de agua concesionada por municipio, 2017 (león, 2018).	36
figura 2.3.2 Uso consuntivo predominante del agua por municipio, 2013 (león, 2018).	37
figura 2.3.3 Fuente predominante para uso consuntivos por municipio, 2017 (león, 2018).	37

figura 2.3.4 Volumen concesionado para uso agrícola en los distritos de riego en México, 2017 (León, 2018).	38
figura 2.3.5 Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego por año agrícola (León, 2018).	39
figura 2.3.6 Volumen de agua concesionada para el abastecimiento público, 2001-2017 (León, 2018).	40
figura 2.3.7 Volumen de agua concesionada para la industria autoabastecida, 2001-2017 (León, 2018).	41
figura 2.3.8 Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).	42
figura 2.3.9 Intensidad de uso del agua superficial por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).	43
figura 2.4 Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).	44
figura 2.4.1 Condición de los acuíferos en México, 2017 (León, 2018).	46
figura 2.4.2 Cobertura de agua potable en México, 1990-2015 (León, 2018).	46
figura 2.4.3 Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2016 (León, 2018).	47
figura 2.4.4 a) Arcillas con propiedades de adsorción de sustancias y b) Adsorción física (Chikizurita, 2015).	63
figura 2.4.5 Adsorción química.	64
figura 2.4.6 Función del intercambio iónico.	65
figura 7.1 a) Preparación de soluciones b) Preparación de CaCO_3 .	77
figura 7.1.1 Titulación de dureza total.	78
figura 7.1.2 Titulación de dureza cálcica.	78
figura 7.1.3 a) Sólidos del agua potable de la llave, b) Sólidos del agua potable que va a la caldera, c) Sólidos del agua del filtro de arena, d) Sólidos del agua del filtro de zeolitas.	81
figura 7.1.4 Determinación de acidez total con fenolftaleína.	83
figura 7.1.5 Determinación de acidez total con naranja de metilo.	84
figura 7.1.6 Determinación de alcalinidad total con fenolftaleína.	86
figura 7.1.7 Determinación de alcalinidad total con naranja de metilo.	86
figura 7.1.8 a) pH agua potable que va a la caldera, b) pH agua del filtro de arena, c) pH agua del filtro de zeolitas.	89

figura 7.1.9 a) Toma de conductividad del agua de la llave, b) Toma de conductividad del agua que va a la caldera, c) Toma de conductividad del agua filtro de arena, d) Toma de conductividad del agua filtro de zeolita.	93
figura 7.2 a) Preparación de muestras para turbidez b) Utilización de espectrofotómetro.	94
figura 7.2.1 a) Tamices de 40,50,50,80, b) Tamices de 100,200,300.....	95
figura 7.2.2 Porciones del tamizado.....	95
figura 7.2.3 Serie de matraces para el cálculo de velocidad de adsorción de carbón activado.	97
figura 7.2.4 Proceso para el cálculo de isoterma de adsorción de carbón activado.	98
figura 7.2.5 Serie de matraces para el cálculo de velocidad de adsorción de arcilla.	101
figura 7.2.6 Proceso para el cálculo de isoterma de adsorción de arcilla.	102

ÍNDICE DE TABLAS

	página
tabla 2.1 Países con mayor agua renovable per cápita, 2010	17
tabla 2.1.1 Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público.....	18
tabla 2.1.2 Países con mayor superficie con infraestructura de riego	19
tabla 2.2 Agua renovable por región hidrológico-administrativa,2017	28
tabla 2.2.1 Principales cuerpos de agua superficial del país, 2017.....	29
tabla 2.2.2 Condición de los acuíferos por región hidrológico-administrativa, 2018	44
tabla 2.4 Requerimientos satisfactorios para agua de caldera y alimentación	58
tabla 2.4.1 Requerimientos satisfactorios para agua de caldera y alimentación segunda parte	59
tabla 7.1 Volúmenes de edta gastados en la dureza total del agua potable de la llave.....	79
tabla 7.1.1 Volúmenes de edta gastados en la dureza total del agua potable que va a la caldera.....	79
tabla 7.1.2 Volúmenes de edta gastados en la dureza cálcica del agua potable que va a la caldera	79
tabla 7.1.3 Volúmenes de edta gastados en la dureza total del agua del filtro de arena.....	80
tabla 7.1.4 Volúmenes de edta gastados en la dureza cálcica del agua del filtro de arena.....	80
tabla 7.1.5 Volúmenes de edta gastados en la dureza total del agua del filtro de zeolitas.....	80
tabla 7.1.6 Volúmenes de edta gastados en la dureza cálcica del agua del filtro de zeolitas.....	80
tabla 7.1.7 Lecturas solidos sedimentables agua de la llave.....	132
tabla 7.1.8 Lecturas solidos sedimentables agua que va a la caldera.....	132
tabla 7.1.9 Lecturas solidos sedimentables filtro de arena.....	132
tabla 7.2 Lecturas solidos sedimentables filtro de zeolitas	132
tabla 7.2.1 Valoración del ácido clorhídrico.....	133
tabla 7.2.2 Valoración del hidróxido de sodio.....	134
tabla 7.2.3 Volúmenes gastados para determinar la acidez en agua destilada ph7	84

tabla 7.2.4 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua de garrafón ph7	84
tabla 7.2.5 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable ph7.....	84
tabla 7.2.6 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable de la llave	85
tabla 7.2.7 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable que va a la caldera.....	85
tabla 7.2.8 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua del filtro de arena	85
tabla 7.2.9 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua del filtro de zeolitas.....	85
tabla 7.3 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua destilada ph7	87
tabla 7.3.1 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua de garrafón ph7.....	87
tabla 7.3.2 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable ph7	87
tabla 7.3.3 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable de la llave.....	87
tabla 7.3.4 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable que va a la caldera	88
tabla 7.3.5 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad de agua del filtro de arena.....	88
tabla 7.3.6 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad de agua del filtro de zeolitas.....	88
tabla 7.3.7 Especificación del manual de conductividad	89
tabla 7.3.8 Valores de conductividad de agua potable de la llave.....	90
tabla 7.3.9 Valores de conductividad de agua potable que va a la caldera	91
tabla 7.4 Valores de conductividad de agua del filtro de arena.....	91
tabla 7.4.1 Valores de conductividad de agua del filtro de zeolitas	92
tabla 7.4.2 Datos de las muestras para determinación de turbidez	94
tabla 7.4.3 Volúmenes obtenidos en la titulación de velocidad de adsorción para carbón activado.....	97
tabla 7.4.4 Preparación de matraces para isoterma de adsorción de carbón activado	97
tabla 7.4.5 Volúmenes obtenidos en la titulación de isoterma de adsorción de carbón activado.....	98

tabla 7.4.6 Volúmenes obtenidos en la titulación de velocidad de adsorción para arcilla.....	101
tabla 7.4.7 Preparación de matraces para isoterma de adsorción de arcilla	101
tabla 7.4.8 Volúmenes obtenidos en la titulación de isoterma de adsorción de arcilla	102
tabla 8.1 Resultados de la dureza total	105
tabla 8.1.1 Resultados de sólidos sedimentables.....	106
tabla 8.1.2 Resultados de acidez y alcalinidad	108
tabla 8.1.3 Resultados del ph.....	108
tabla 8.1.4 Resultados de conductividad	109
tabla 8.1.5 Resultados del tamizado de la arcilla	110
tabla 8.1.6 Resultados de la velocidad de adsorción del carbón activado.....	111
tabla 8.1.7 Resultados de isoterma de adsorción de carbón activado.....	112
tabla 8.1.8 Parámetros isoterma de freundlich carbón activado	113
tabla 8.1.9 Coeficientes de la ecuación de freundlich carbón activado	114
tabla 8.2 Resultados de la velocidad de adsorción de arcilla.....	115
tabla 8.2.1 Resultados de isoterma de adsorción de arcilla	116
tabla 8.2.2 Parámetros isoterma de freundlich arcilla.....	117
tabla 8.2.3 Coeficientes de la ecuación de freundlich arcilla	117

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	página
gráfico 8.1 de barras de solidos sedimentables.....	107
gráfico 8.2 Resultados de turbidez.....	110
gráfico 8.3 Velocidad de adsorción del carbón activado.....	112
gráfico 8.4 Isotherma de adsorción del carbón activado.....	113
gráfico 8.5 Constante de adsorción del carbón activado.	114
gráfico 8.6 Ajuste a la ecuación de freundlich del carbón activado.....	115
gráfico 8.7 Velocidad de adsorción de arcilla.....	116
gráfico 8.8 Isotherma de adsorción de arcilla.....	117
gráfico 8.9 Constante de adsorción de arcilla.....	118
gráfico 9 Ajuste a la ecuación de freundlich de arcilla.....	119
gráfico 9.1 Comparación rapidez de adsorción.	119
gráfico 9.2 Comparación de isothermas de adsorción.....	120

RESUMEN

La contaminación del agua ha sido muy frecuente y lamentablemente va aumentando, una de las causas son los compuestos orgánicos, lo que ocasiona un grave problema para las personas y sobre todo el mundo. En este documento se da a conocer el método de adsorción sobre el carbón activado y la arcilla para poder realizar la comparación de adsorción entre ellos y así reemplazar el carbón activado por la arcilla. El carbón activado es el método más utilizado, mientras que la arcilla es más económica y, sin embargo, no requiere de proceso químico de activación. Para definir esto, se hicieron pruebas fisicoquímicas al agua para poder determinar un nivel de contaminación como son principalmente la dureza, sólidos sedimentables, acidez y alcalinidad, pH, conductividad y turbidez; tomando como muestras agua potable, agua de la caldera y agua de los filtros de arena y zeolitas para tener una mejor comparación. Generalmente hubo resultados elevados de las pruebas en las muestras de agua de la caldera y del filtro de arena debido a falta de mantenimiento. Posteriormente por medio de adsorción se obtuvieron gráficos de cinética e isothermas de adsorción para realizar dicha comparación. Se obtiene que la arcilla tiene una velocidad de adsorción más rápida que el carbón activado (carbón activado minuto 12, arcilla minuto 4) y su isoterma es similar; por lo que la arcilla es un gran sustituyente del carbón activado en la adsorción y utilizarla para disminuir la turbidez del agua potable.

Palabras claves: contaminación, agua, turbidez, adsorción, arcilla.

ABSTRACT

Water pollution has been very frequent and unfortunately is increasing, one of the causes are organic compounds, which causes a serious problem for people and especially the world. In this paper we present the adsorption method on activated carbon and clay in order to compare the adsorption between them and thus replace the activated carbon by clay. Activated carbon is the most used method, while clay is more economical and, however, does not require chemical activation process. To define this, physicochemical tests were first performed on the water to observe the level of contamination, such as hardness, sedimentable solids, acidity and alkalinity, pH, conductivity and turbidity, taking samples of drinking water, boiler water and water from the sand and zeolite filters for better comparison. Generally there were high test results in the boiler and sand filter water samples due to lack of maintenance. Subsequently, adsorption kinetics and adsorption isotherms graphs were obtained for comparison. It is obtained that clay has a faster adsorption rate than activated carbon (activated carbon minute 12, clay minute 4) and its isotherm is similar; therefore, clay is a great substitute for activated carbon in adsorption and can be used to reduce the turbidity of drinking water.

Key words: contamination, water, turbidity, adsorption, clay.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es una necesidad fundamental para la vida y la supervivencia, lo que crea problemas y desafíos para abordar, reducir y evitar la contaminación y la escasez actuales.

Uno de los métodos más utilizados y eficaces para eliminar compuestos orgánicos del agua es la adsorción. Debido a que la principal limitación es el costo de producción y regeneración, se utilizan muchos adsorbentes diferentes derivados de materiales de bajo costo, como neumáticos, madera, huesos, cáscaras de frutas y desechos agrícolas, que tienen un bajo contenido inorgánico y un alto contenido de carbono.

La adsorción es la opción más económica y ecológica para el tratamiento de aguas residuales industriales porque contiene muchos aditivos tóxicos.

Por esta razón, los métodos de tratamiento actuales incluyen procesos de adsorción utilizando materiales porosos, como zeolita, arcilla, carbón activado.

Debido a su porosidad, el carbón activado es ampliamente utilizado como adsorbente en procesos de limpieza industrial y regeneración química. Sin embargo, el uso de arcilla suele ser beneficioso para el medio ambiente debido a su alta capacidad de adsorción y su bajo coste.

El agua es esencial para la supervivencia del planeta. Sin ella, la vida y la biodiversidad desaparecerían, lo que nos lleva a pensar en el agua como un recurso y un derecho escaso y limitado. La falta de acceso causa pobreza, injusticia social y altera dramáticamente las oportunidades que ofrece la vida.

El derecho humano al agua es esencial para una vida digna y un requisito previo para la realización de otros derechos humanos. Por tanto, el agua debe verse como un bien cultural y social, no sólo como un bien económico.

Se necesita más agua para producir alimentos de lo que pensamos; Entonces, la huella hídrica es una medida del uso de agua dulce necesaria para producir los bienes que consumimos.

La industria utiliza la mayor cantidad de agua, por lo que la industria química y la refinación de petróleo utilizan el 11% del agua dulce. A nivel mundial, la industria en su conjunto consume entre el 5 y el 10% de los recursos de agua dulce.

Dado que el agua es la principal fuente de energía de las calderas, es importante conocer las propiedades de este recurso.

El tratamiento del agua de la caldera es esencial para garantizar la longevidad de su equipo. No hay problemas operativos, no se necesitan reparaciones inesperadas ni accidentes potenciales.

Por lo tanto, es importante realizar un análisis físico y químico del agua para determinar el método de tratamiento del agua de caldera más adecuado. Para ello se deben tener en cuenta parámetros como dureza, acidez, alcalinidad, sólidos sedimentados, pH y turbidez.

Por tal razón, este trabajo se basa en los motivos antes mencionados para determinar las propiedades del agua, en este caso; del agua potable suministrada a la caldera y después de pasar por los filtros utilizados para el tratamiento de esta. Del mismo modo, determinar la capacidad de adsorción del carbón activado y el material de interés: la arcilla; analizando por medio de gráficos la tasa de adsorción y la isoterma de ambos adsorbentes, y finalmente utilizar el material de interés que servirá como filtro para reducir la turbiedad del agua potable.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Distribución de agua en el mundo

El agua es la fuente de toda la vida en la Tierra. Su distribución es muy diferente: en algunas regiones es muy abundante, en otras es muy rara. Sin embargo, contrariamente a la creencia popular, la cantidad total de agua en el planeta no ha cambiado. (Leyva, 2015).

El agua existe en forma sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor), podemos observarlas en océanos, ríos, nubes, lluvia y otras formas de precipitación con frecuentes cambios de estado. De esta manera, el agua superficial se evapora, el agua precipita de las nubes y la lluvia se filtra en el suelo y fluye hacia el mar. Ver figura 2.1. Al conjunto de procesos implicados en la circulación y protección del agua en el planeta se le denomina ciclo hidrológico o, más precisamente, ciclo geohidrológico.

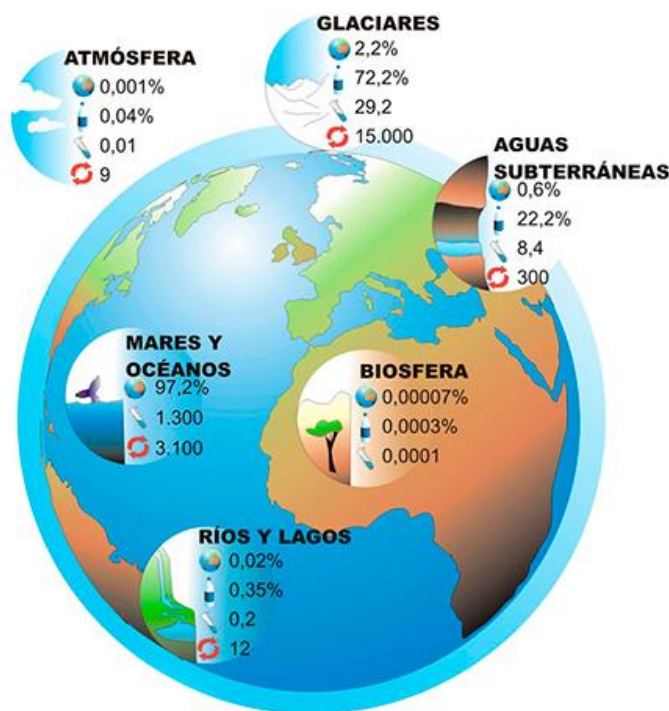


Figura 2.1 Distribución de agua en el mundo (Leyva, 2015).

El 97.5% del agua de la Tierra se encuentra en océanos y mares salados, sólo el 2.5% restante es agua dulce. El 69% de los recursos de agua dulce del mundo se encuentran en los polos y cimas de las montañas más altas y se encuentran en estado sólido (ver figura 2.1.1).

El 30% de los recursos de agua dulce del mundo se encuentran en suelos húmedos y acuíferos profundos.

Sólo el 1% del agua dulce del mundo fluye a través de cuencas fluviales como ríos y arroyos y se deposita en lagos, lagunas, otras aguas superficiales y acuíferos.

Esta es la cantidad de agua que se repone periódicamente durante el ciclo hidrológico.

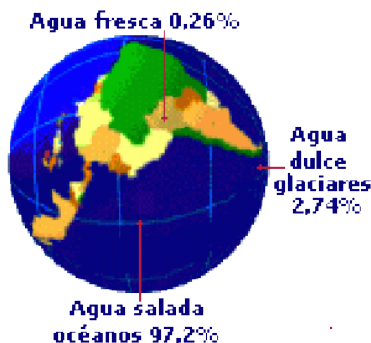


Figura 2.1.1 Porcentaje de agua en la tierra (Leyva, 2015).

De la cantidad de agua utilizable por los humanos, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos poco profundos, que se reciclan mediante ósmosis. Gran parte de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de zonas pobladas, lo que hace que su uso eficaz sea difícil o costoso. (Morgan, 2011).

▪ Precipitación

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico porque crea agua renovable para el planeta. Sin embargo, las precipitaciones varían según la región y la estación.

La figura 2.1.2 muestra la relación que existe entre la distribución de la precipitación medida por el coeficiente de variación y la latitud en diferentes ciudades del mundo. El coeficiente de variación es aproximadamente la variación de las precipitaciones durante el año. Cuanto mayor sea la ratio, mayor será la variabilidad a lo largo del año. Las ciudades en latitudes más altas reciben precipitaciones uniformes durante todo el año, mientras que las ciudades más cercanas al ecuador reciben más precipitaciones en el verano.

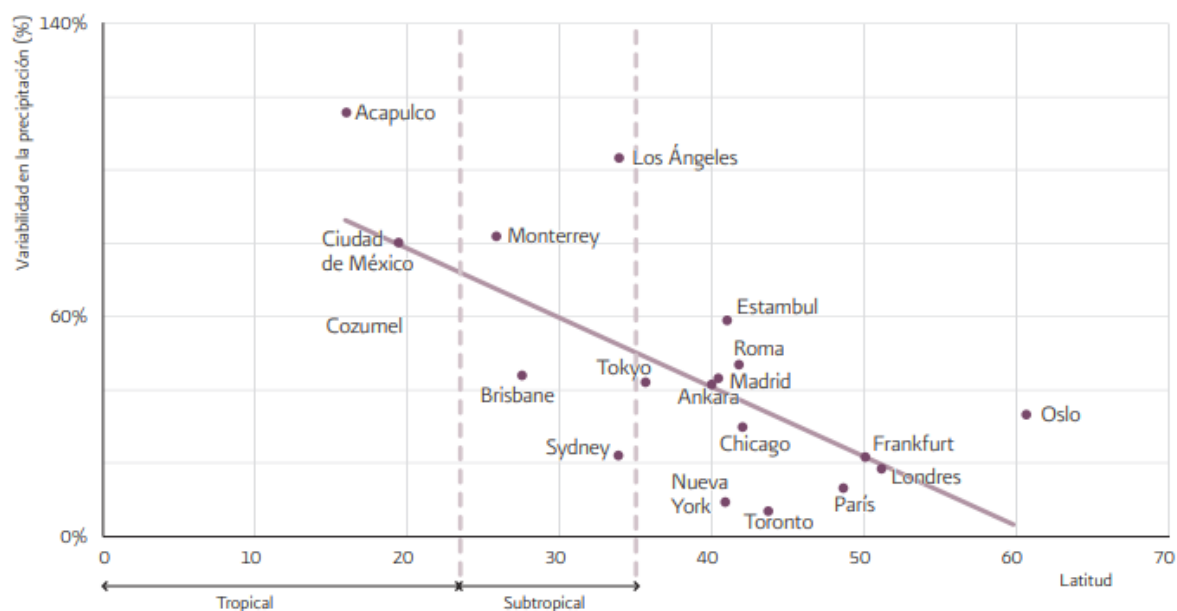


Figura 2.1.2 Interrelación entre la variabilidad de la precipitación y latitud (Morgan, 2011).

a) Agua renovable

La cantidad de agua renovable per cápita en un país se calcula dividiendo los recursos renovables entre la población. Según este criterio, México ocupa el puesto 86 a nivel mundial entre 177 países para los cuales hay información disponible, como se puede ver en la tabla 2.1 a continuación.

El agua renovable se caracteriza por importantes fluctuaciones regionales y estacionales.

Tabla 2.1 Países con mayor agua renovable per cápita, 2010

No	País	Población (miles habitantes)	Agua renovable (miles de millones de m ³)	Agua renovable per cápita (m ³ /hab/año)
1	Guayana Francesa	220	134	609 091
2	Islandia	315	170	539 683
3	Guayana	763	241	315 858
4	Surinam	515	122	236 893
5	Congo	3 615	832	230 152
6	Papua Nueva Guinea	6 577	801	121 788
7	Bhután	687	78	113 537
8	Cabón	1 448	164	113 260
9	Islas Salomón	511	45	87 470
10	Canadá	33 259	2 902	87 255
11	Noruega	4 767	382	80 134
12	Nueva Zelanda	4 230	327	77 305
13	Perú	28 837	1 913	66 338
14	Bolivia	9 694	623	64 215
15	Belice	301	19	61 628
16	Liberia	3 793	232	61 165
17	Chile	16 804	922	54 868
18	Paraguay	6 238	336	53 863
19	Laos	6 205	334	53 747
20	Colombia	45 012	2 132	47 365
23	Brasil	191 972	8 233	42 886
60	Estados Unidos de América	311 666	3 096	9 847
86	México	108 555	460	4 263
90	Francia	67 036	204	3 284
104	Turquía	73 914	232	2 890
145	Sudáfrica	49 668	50	1 007

b) Usos del agua e infraestructura

En el siglo XX, cuando la población mundial se triplicó, la producción de agua se sextuplicó. Esta situación aumenta la presión sobre los recursos hídricos en todo el mundo. La tabla 2.1.1 muestra los países del mundo con las mayores extracciones de agua, con México en octavo lugar. Según estimaciones de la FAO, el principal recurso hídrico utilizado en el mundo es la agricultura, que representa el 72% de la producción total. (Morgan, 2011).

Tabla 2.1.1 Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola, industrial y abastecimiento público.

No	País	Extracción total de agua (km ³ /año)	% Uso agrícola	% Uso industrial	% Uso abastecimiento público
1	India	761.0	90.4	2.23	7.4
2	China	554.1	64.6	23.21	12.2
3	Estados Unidos de América	478.4	40.2	46.11	13.7
4	Pakistán	183.5	94.0	0.76	5.3
5	Irán	93.3	92.2	1.18	6.6
6	Japón	88.4	62.5	17.87	19.7
7	Indonesia	82.8	91.3	0.68	8.0
8	México	80.6	76.7	9.20	14.1
9	Filipinas	78.9	83.1	9.45	7.4
10	Vietnam	71.4	68.1	24.14	7.8
11	Egipto	68.3	86.4	5.86	7.8
12	Rusia	66.2	19.9	59.82	20.2
13	Iraq	66.0	78.8	14.70	6.5
14	Brasil	59.3	61.8	17.96	20.3
15	Uzbekistán	58.3	93.2	2.06	4.7
16	Tailandia	57.3	90.4	4.85	4.8
17	Canadá	46.0	11.8	68.68	19.6
18	Italia	44.4	45.1	36.71	18.2
19	Turquía	40.1	73.8	10.72	15.5
20	Francia	40.0	9.8	74.47	15.7
21	Alemania	38.9	2.9	82.12	14.9
22	Ucrania	37.5	52.5	35.39	12.2
23	Sudán	37.3	96.7	0.70	2.7
42	Sudáfrica	12.5	62.7	6.05	31.2

c) Uso industrial

La industria es uno de los principales motores del crecimiento y el desarrollo económicos. Alrededor del 20% del agua se utiliza en la industria, lo que corresponde a un consumo de 130 m³/persona/año. De ellos, más de la mitad se utilizan en centrales térmicas para refrigeración de procesos. Los mayores consumidores de agua en esta categoría incluyen las plantas petroleras, la metalurgia, el papel, la silvicultura, la alimentación y la industria manufacturera. (Morgan, 2011).

d) Uso agrícola

La hidratación es importante para la nutrición global. De las zonas de cultivo, sólo el 19% tiene infraestructura de riego, pero más de un tercio de los cultivos del

mundo se cultivan aquí. También cabe señalar que en los últimos años se han utilizado cada vez más agroquímicos en la agricultura, lo que ha provocado la contaminación del suelo y de los acuíferos. México ocupa el sexto lugar en el mundo en términos de área de infraestructura de riego, detrás de China, India y Estados Unidos, como se muestra en la tabla 2.1.2.

Tabla 2.1.2 Países con mayor superficie con infraestructura de riego

No	País	Superficie con infraestructura de riego con dominio total: Total (miles ha)	Superficie cultivada (miles ha)	Infraestructura de riego respecto a superficie cultivada ()
1	India	66 334	169 320	39.2
2	China	62 559	122 543	51.1
3	Estados Unidos de América	24.722	173 200	14.3
4	Pakistán	19 270	21 200	90.9
5	Irán (República Islámica del)	8.132	18 770	43.3
6	Indonesia	6 722	37 100	18.1
7	Tailandia	6 415	18 850	34.0
8	México	6 460	26 900	24.0
9	Bangladesh	5 050	8 700	58.0
10	Turquía	4 970	24 505	20.3
11	Viet Nam	4 585	9 415	48.7
12	Federación de Rusia	4 454	123 442	3.6
13	Uzbekistán	4 223	4 620	91.4
14	Italia	3 950	9 768	40.4
15	España	3 671	17 300	21.2
16	Iraq	3 525	5 450	64.7
17	Egipto	3 422	3 542	96.6
18	Afganistán	3 119	7 910	40.4
19	Japón	3 128	4 628	67.6
20	Brasil	2 878	68 500	4.2
21	Francia	2 670	19 331	13.8
22	Kazajstán	2 314	22 800	10.1
23	Chile	1 900	1 722	110.3
31	Sudáfrica	1 498	15 450	9.7

e) Generación de energía hidroeléctrica

La Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que la producción de energía casi se duplicó entre 1973 y 2008, de 6.115 a 12.267 millones de toneladas equivalentes de petróleo. El agua interfiere con la generación de electricidad de dos maneras principales: enfriando las centrales térmicas y las turbinas hidroeléctricas. En 2008, el 2,2% de la demanda total de energía primaria provino de energía hidroeléctrica, como se muestra en la figura 2.1.3. La producción de energía debe

considerarse en el contexto de las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. La energía hidroeléctrica se considera una fuente de energía renovable, junto con la energía geotérmica, la energía solar y la energía eólica. (Morgan, 2011).

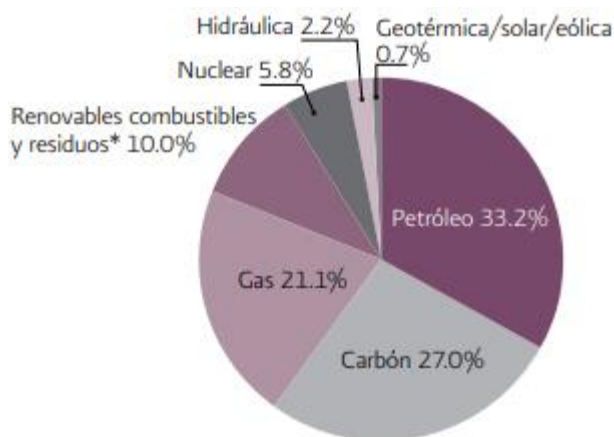


Figura 2.1.3 Fuentes de suministro de energía, 2008 (Morgan, 2011).

f) Presas de almacenamiento en el mundo

La capacidad de utilizar los recursos hídricos para diversos fines y la prevención de inundaciones es proporcional al nivel de desarrollo hidráulico de los países. El punto de referencia para evaluar esto es la capacidad de almacenamiento por residente. Vale la pena señalar que México ocupa el puesto 19 a nivel mundial en términos de capacidad de almacenamiento per cápita, como se muestra en la figura 2.1.4. (Morgan, 2011).

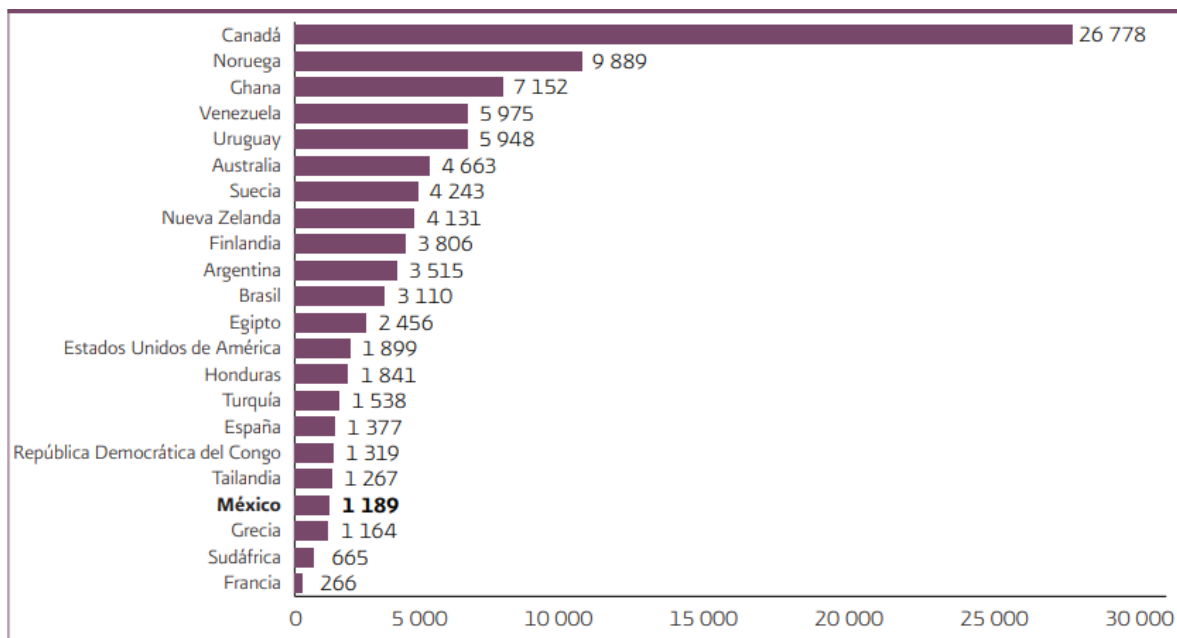


Figura 2.1.4 Capacidad de almacenamiento per cápita en países seleccionados (m³/hab) (Morgan, 2011).

g) Huella hídrica

Una forma de medir el impacto de las actividades humanas sobre los recursos hídricos se llama huella hídrica, que es el resultado de sumar la cantidad de agua que cada persona utiliza para realizar diversas actividades y la cantidad de agua necesaria para limpiar, producir bienes y servicios. Los cuatro factores principales que determinan la huella hídrica de un país son: niveles de consumo, patrones de consumo (por ejemplo, cuánta carne consume cada persona), clima y eficiencia en el uso del agua. Según este concepto, en promedio cada persona utiliza 1.240 m³ de agua/año; Sin embargo, las diferencias entre países son enormes. Por ejemplo, la huella hídrica de México es de 1.441 m³ de agua/persona/año, mientras que Estados Unidos, uno de los países con mayor huella hídrica, utiliza 2.483 m³, y China utiliza 702 m³, que es uno de los países con menor huella hídrica. huellas hídricas. Estos cálculos tienen en cuenta el agua de acuíferos, lagos, ríos y arroyos (llamada "agua azul") así como el agua de lluvia suministrada a los cultivos estacionales (llamada "agua verde").

h) Grado de presión sobre los recursos hídricos

El nivel de presión se determina dividiendo la producción por el agua recuperada. Debido a la escasez de recursos, los países del Medio Oriente están bajo una mayor presión sobre los recursos hídricos, y México ocupa el puesto 58. (Morgan, 2011).

i) Agua virtual

Un concepto estrechamente relacionado con la huella hídrica se refiere al contenido de agua virtual. El contenido de agua virtual de un producto es la cantidad de agua utilizada durante la producción. El comercio entre países implica implícitamente un flujo virtual de agua entre países, correspondiente a la cantidad de agua utilizada para producir productos o servicios exportados o importados. El volumen total de agua virtual intercambiada entre países del mundo es de 1.625 km³ al año, de los cuales alrededor del 80% son productos agrícolas y el resto son productos industriales. A nivel mundial, cultivar un kilogramo de maíz requiere un promedio de 900 litros de agua, mientras que cultivar un kilogramo de arroz blanco requiere 3.400 litros. Por otro lado, se necesitan un promedio de 15.500 litros para producir un kilogramo de carne de vacuno, incluyendo el agua que bebe la carne a lo largo de su ciclo de vida y la cantidad de agua necesaria para cultivar alimentos.

Las importaciones virtuales de agua podrían ser una solución al problema de la escasez de agua en algunos países. Los países que exportan agua virtual deberían evaluar el impacto de esta actividad en los recursos hídricos disponibles y las perturbaciones que pueden resultar de los subsidios a la producción agrícola.

j) Tarifas de agua potable y saneamiento

Se puede considerar que el financiamiento de la prestación de los servicios de agua potable, aguas residuales y saneamiento se realiza a través de tarifas, transferencias e impuestos (abreviado como 3Ts en inglés: Tariffs, Transfers and Taxes). No existe una definición uniforme de los costos asociados a la prestación de un servicio, lo que significa que la relación entre tarifas y costos también varía. En algunas zonas, las tarifas están diseñadas para reembolsar el coste total del servicio. En otros casos, la tasa devuelve un cambio porcentual en los costos. La figura 2.1.5 muestra las tarifas de agua potable y aguas residuales domésticas de 15 m³/mes en algunas ciudades del mundo, así como los impuestos asociados a estos servicios.

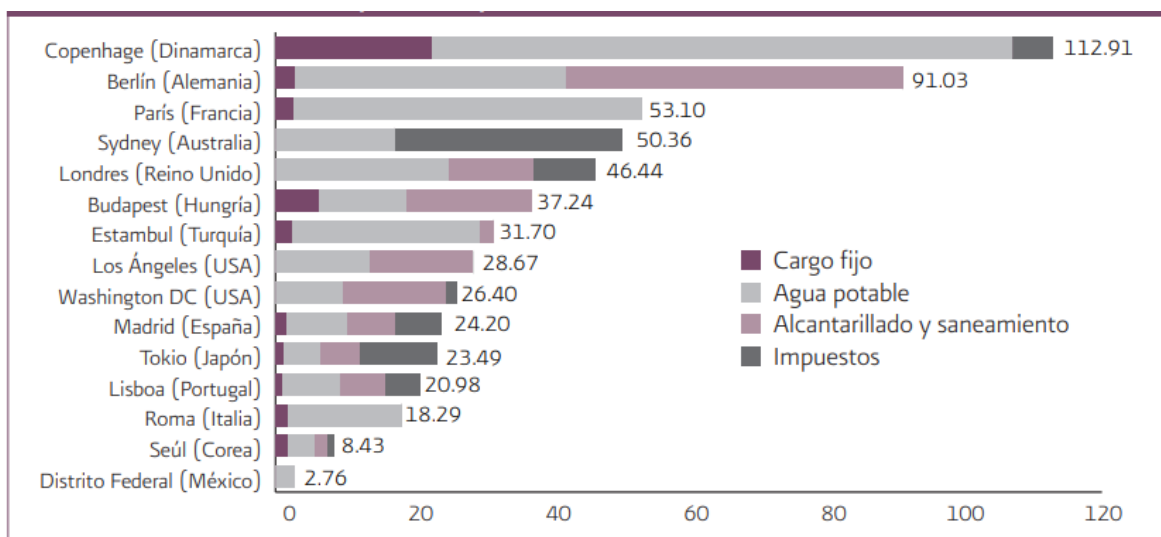


Figura 2.1.5 Tarifas domésticas de agua potable, saneamiento e impuestos asociados al servicio en algunas ciudades del mundo (tarifa en pesos/m³ para un consumo de 15 m³/mes) (Morgan, 2011).

k) Agua y salud

Las enfermedades diarreicas incluyen el cólera, la fiebre tifoidea y la disentería, todas las cuales implican transmisión oral. La mayoría de las muertes por estas enfermedades se pueden prevenir con agua potable y saneamiento, ya que se estima que el 88% de los casos de diarrea son causados por agua contaminada, higiene inadecuada y prácticas deficientes de higiene. Se estima que mejorar el agua potable y el saneamiento podría reducir las muertes infantiles en 2.2 millones cada año. Estas mejoras también reducirían los costos de atención médica, la pérdida de productividad debido a enfermedades y la mortalidad prematura. (Morgan, 2011).

2.2. Distribución de agua en México

2.2.1. Principales Usos del Agua en México

México ya está sintiendo los efectos negativos de la escasez de agua. En los últimos años, las regiones central y norte de nuestro país suelen carecer de agua debido al aumento de las sequías. Según el Banco Mundial, la oferta anual per cápita en el país aumentó de 10,000 metros cúbicos (m³) en 1960 a 4 mil en 2012. Se espera que para 2030, este nivel de seguridad en México caiga por debajo de los 3,000 m³/persona/año. Ver Figura 2.2. (Natividad, 2023).

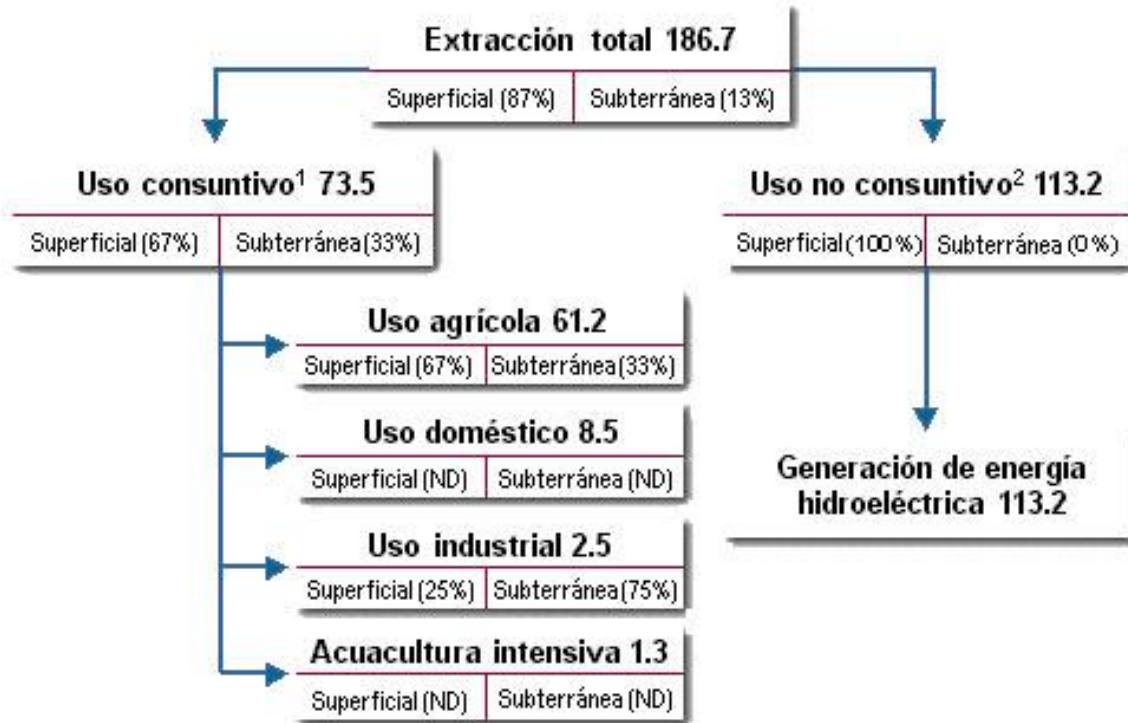


Figura 2.2 Distribución de agua en México (Natividad, 2023).

a) ¿Qué sabemos de la situación del agua en México?

Existen 4 grupos de usuarios domésticos de agua concesionada en el país, figura 2.2.1:

- 1) **Sector agropecuario.** En 2020, este sector representó el 76% del suministro total de agua para riego de cultivos y ganado.
- 2) **Suministros públicos.** Representa el 15% del monto total de la concesión y se distribuye a través de redes de agua potable a hogares, empresas y otros usuarios conectados a estas redes.
- 3) **Industria autosuficiente.** Representa el 5% del total de concesiones e incluye empresas que extraen agua directamente de los ríos, arroyos, lagos y acuíferos del país.
- 4) **Central de calefacción eléctrica.** Esto representa el 4% del agua suministrada.



Figura 2.2.1 Consumidores de las concesiones de agua (Natividad, 2023).

Los recursos hídricos de México enfrentan una variedad de problemas dependiendo del tipo (superficial o subterráneo) y tipo de fenómeno climático (lluvia o sequía):

- 1) **Agua superficial.** En México, el 60% del agua potable proviene de aguas superficiales. Entre los grandes ríos, siete ríos representan el 71% del agua superficial del país, distribuidos en las regiones Central y Sur del país, mientras que sólo el 29% del agua superficial se ubica en el Norte. El principal problema de las aguas superficiales es la contaminación, especialmente las aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y ganaderas, que en la mayoría de los casos se vierten sin tratamiento previo y contienen contaminantes e impurezas que se disuelven. (Natividad, 2023).
- 2) **Agua subterránea (acuíferos).** Los acuíferos de México están en riesgo de sobreexplotación: en 2018, el 18% de los acuíferos estaban sobreexplotados. Esto afecta tanto a los recursos humanos como a las actividades agrícolas e industriales, al tiempo que aumenta los costos de explotación del agua y provoca hundimientos de tierras. Del mismo modo, el 5% de los acuíferos tienen problemas de salinización del suelo, un proceso

que provoca que aumenten las concentraciones de sal y minerales en las aguas subterráneas y que disminuya su calidad. Además, el 3% de los acuíferos de México tienen problemas de intrusión marina, que ocurre cuando el agua salada del interior desplaza al agua dulce.

- 3) **Precipitación.** México recibe un promedio de alrededor de 1.5 millones de metros cúbicos de agua al año en forma de lluvia. El 67% de la lluvia cae de junio a septiembre, principalmente en la región Sur-Sureste, donde cae el 50% de la lluvia. La precipitación media anual del país ha aumentado con el tiempo, posiblemente debido al cambio climático. Sin embargo, no todos los países viven este fenómeno con la misma intensidad. En México y el Estado de México, las precipitaciones disminuyeron de 2000 a 2021, mientras que las precipitaciones aumentaron en estados como Campeche, Quintana Roo, Veracruz y Guanajuato durante el mismo período. (Natividad, 2023).
- 4) **Sequías.** México es un país propenso a la sequía, con el 52% de su territorio ubicado en zonas climáticas áridas o semiáridas. Hay un total de 14 estados en estas regiones. Aunque las sequías son un fenómeno cíclico, su frecuencia, intensidad y duración han aumentado durante la última década. En 2021 se registraron 8.491 sequías, de las cuales el 71% fueron sequías graves que amenazaron con la pérdida de cultivos, el 26% fueron sequías extremas, que provocaron importantes daños a los cultivos y riesgo de incendios forestales, el 3% fueron sequías especiales, es decir, sequías graves. escasez integral de agua. en estanques, arroyos y pozos (Natividad, 2023).

b) Balance hídrico nacional

Los últimos cálculos del balance hídrico de México muestran que el país recibe un promedio de 1.449 km³ de precipitación anual, de los cuales el 70% regresa a la atmósfera a través de la evapotranspiración. Además de las precipitaciones, el país recibe alrededor de 48 kilómetros cúbicos de importaciones de ríos en sus fronteras norte y sur y exporta 0.43 kilómetros cúbicos anualmente desde el Río Grande a Estados Unidos en virtud del Tratado para Compartir Agua desde 1944. Así, el recurso natural medio de todo el país al año es de 451.6 km³ de agua, figura 2.2.2. De este volumen, cerca del 80% corresponde a escurrimiento superficial nacional (359.04 km³ en 2017) y el 20% restante (92.5 km³) contribuye a la recarga de acuíferos. El valor medio nacional de los recursos naturales es superior al de la mayoría de los países europeos, pero bajo en comparación con países como Brasil (8.647 km³), Estados Unidos (3.069 km³) o Canadá (2.902 km³). (León, 2018).



Figura 2.2.2 Balance de agua en México 2017 (León, 2018).

La escorrentía superficial también varía dependiendo de la ubicación geográfica del país: la zona fronteriza sur representa poco más del 34.7% del total nacional (debido principalmente a la presencia de los ríos Grijalva y Usumacinta), mientras que la península de Baja California y Yucatán representa alrededor del 1%, tabla 2.2. En el caso de Baja California esto se puede explicar por las bajas precipitaciones y en el caso de Yucatán por el terreno plano y sustrato permeable que impiden la formación de escurrimientos superficiales importantes. (León, 2018).

Tabla 2.2 Agua renovable por región hidrológico-administrativa, 2017

	Región hidrológico-administrativa	Agua Renovable (hm ³ /año)	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Porcentaje de escorrentamiento natural total	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)	Porcentaje de la recarga total de acuíferos
I	Península de Baja California	4 858	3 218	0.9	1 641	1.8
II	Noroeste	8 274	5 068	1.4	3 207	3.5
III	Pacífico Norte	26 747	23 537	6.6	3 211	3.5
IV	Balsas	21 668	16 798	4.7	4 871	5.3
V	Pacífico Sur	30 836	28 900	8.0	1 936	2.1
VI	Rio Bravo	12 844	6 495	1.8	6 350	6.9
VII	Cuencas Centrales del Norte	8 024	5 551	1.5	2 474	2.7
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	35 071	25 241	7.0	9 831	10.6
IX	Golfo Norte	28 655	24 555	6.8	4 099	4.4
X	Golfo Centro	94 363	89 764	25.0	4 599	5.0
XI	Frontera Sur	147 195	124 477	34.7	22 718	24.5
XII	Península de Yucatán	29 647	4 331	1.2	25 316	27.4
XIII	Aguas del Valle de México	3 401	1 106	0.3	2 294	2.5
	Total nacional	451 585	359 041	100	92 544	100

El sistema de drenaje de aguas superficiales del país fluye a través de ríos y arroyos en toda la zona. Poco más del 87% del caudal discurre a través de 50 ríos principales y sus cuencas de drenaje cubren aproximadamente el 64% del territorio. Tabla 2.2.1. El país no tiene muchos lagos grandes, la cantidad almacenada en ellos es sólo el 3% del caudal nacional. (figura 2.2.3) (León, 2018).

Tabla 2.2.1 Principales cuerpos de agua superficial del país, 2017

Región	Número de ríos o lagos	Longitud total (km)	Superficie total de las cuencas (km ²)	Escurrimiento natural medio Superficial (millones de m ³ /año)
Ríos de la vertiente del Pacífico y Golfo de California	33	8 411	581 076	79 179
Ríos de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe	16	5 174	555 970	227 555
Ríos de la vertiente interior	3	1 789	228 236	8 518
Lagos principales	7	-	1 692	10 410
Totales	-	15 374	1 365 282	315 252

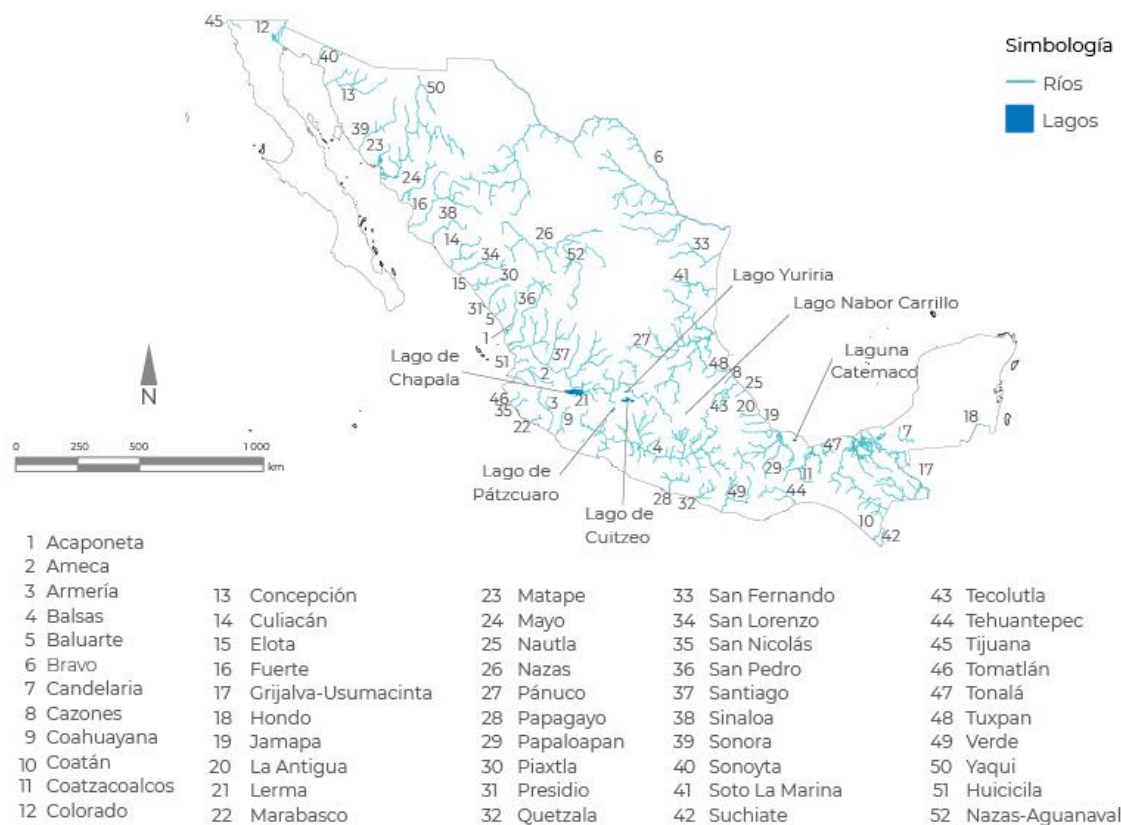


Figura 2.2.3 Principales ríos y lagos de México, 2017 (León, 2018).

En términos de recarga total promedio de los acuíferos, las tasas más altas se presentan en la Región XII (Península de Yucatán; recarga 25.316 hm³) y XI (Frontera Sur; 22.718 hm³), en general (tabla 2.2.1). Sin embargo, las regiones con

menores tasas de recarga de acuíferos nacionales son I (Península de California, 1.8% de la recarga total) y V (Pacífico Sur, 2.1%). (León, 2018).

c) Disponibilidad natural media

Los recursos naturales totales promedio, también conocidos como “agua renovable”, varían mucho entre regiones: mientras que la región hidrológica y administrativa XI “Frontera Sur” representa el 39% del agua renovable total a nivel nacional (es decir, alrededor del 5% del volumen total de agua renovable en el país) en la región XIII Aguas del Valle de México apenas se dispone del 0.8% del total, tabla 2.2 y figura 2.2.3. La disponibilidad de agua no coincide con la distribución de la población en el territorio ni con el producto interno bruto de la región (Figura 2.2.4). Si incluimos las cuatro regiones hidrológicas del Sureste del país (Pacífico Sur), la población del país aporta alrededor del 18% del PIB del país. (figura 2.2.5).



Figura 2.2.4 Disponibilidad natural media, población y PIB en México, 2016 (León, 2018).

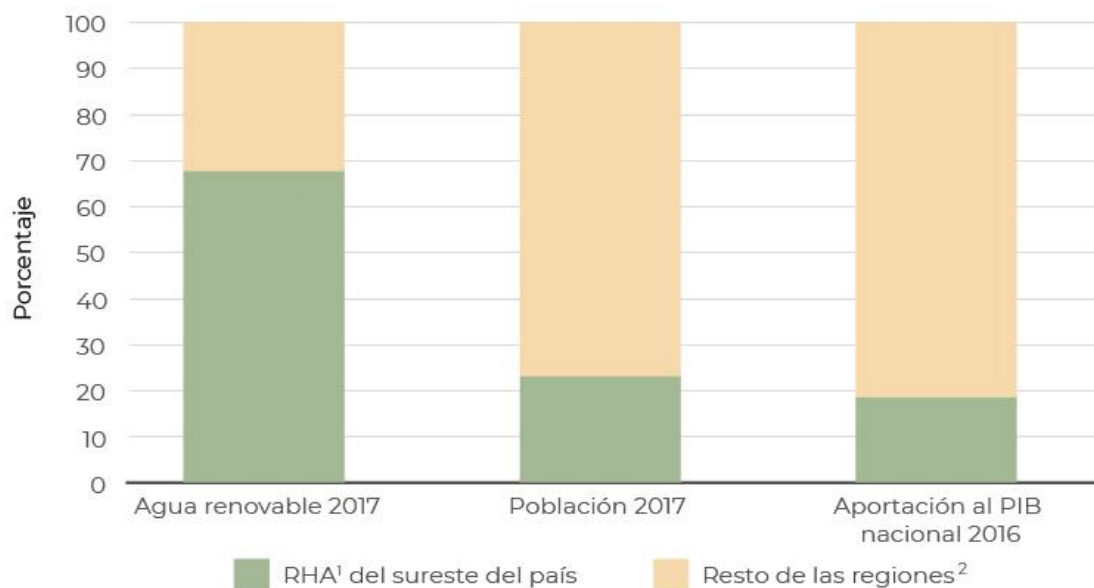


Figura 2.2.5 Contrastes regionales entre el agua renovable y el desarrollo nacional, 2017 (León, 2018).

d) Almacenamiento en presas

Hay poco más de 5.100 presas y embalses en todo el país, que en conjunto almacenan alrededor de 150,000 metros cúbicos de agua. Sin embargo, la mayor parte del volumen se concentra en sólo 180 presas, de las cuales en 2017 sólo contenían más de 94,3 mil. metros cúbicos. hectáreas, lo que representa casi el 73% de la capacidad instalada (figura 2.2.6). Según la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD), varias represas del país están clasificadas como grandes represas. La figura 2.2.7 muestra la distribución de este tipo de presas entre regiones hidrológicas y administrativas con capacidades superiores a 1,000 metros cúbicos.

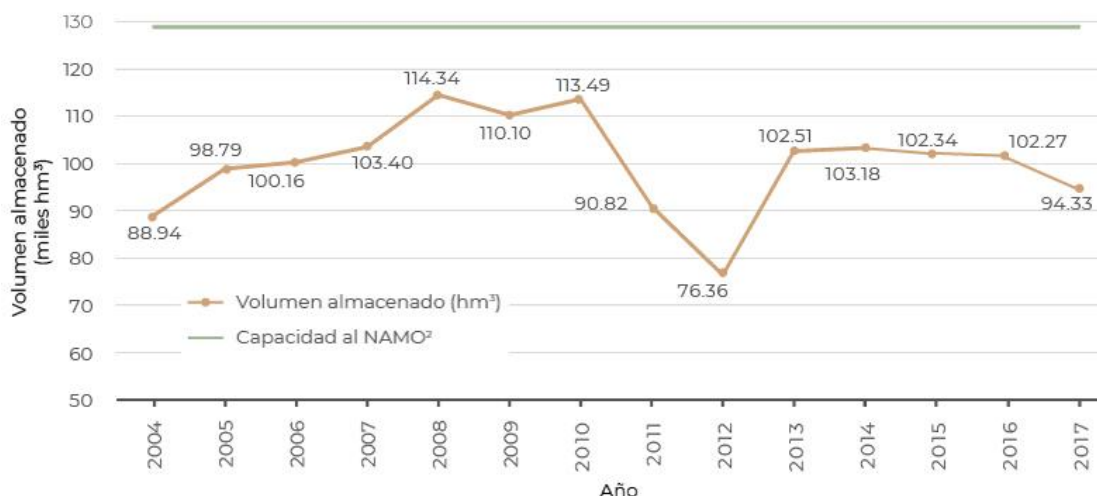


Figura 2.2.6 Volumen de agua almacenado en las principales presas del país, 2004-2017 (León, 2018).

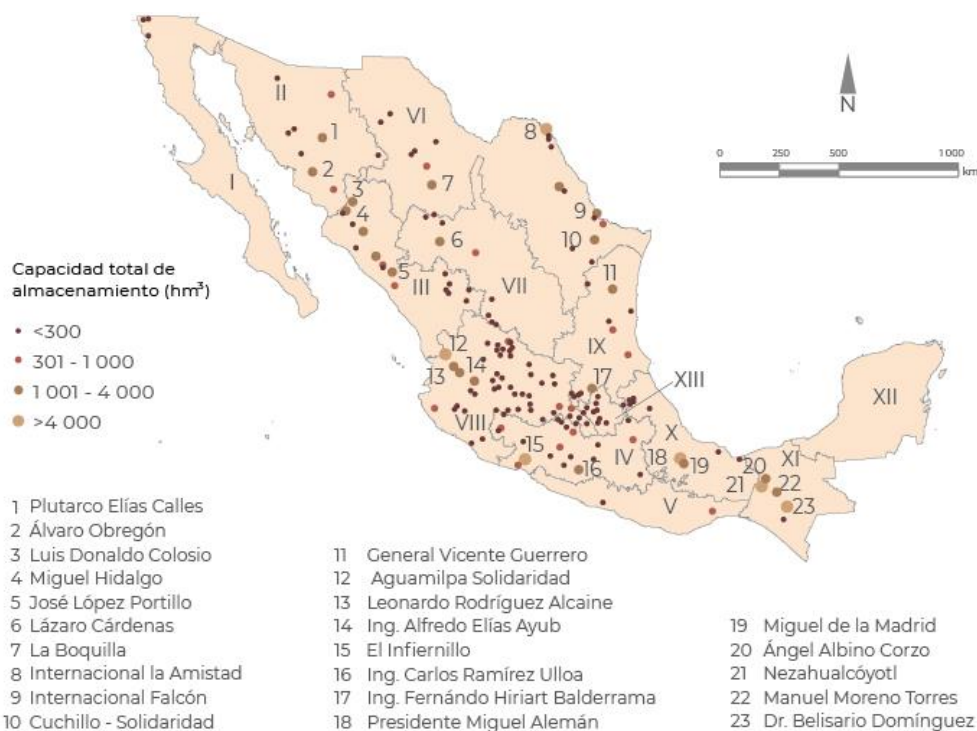


Figura 2.2.7 Presas más grandes del país por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).

e) Usos consuntivos del agua

En México, la Conagua divide a los usuarios del agua en tres sectores: agricultura, servicios públicos e industria. En 2017, el volumen de concesiones otorgadas para estos fines de consumo fue un 21% superior al de 2001 y pasó de 72.7 a 87.9 km³; Esta última cifra representa el 19.2% del volumen total de agua renovable (451.6 km³). En 2017, además de 87.9 km³ de concesiones otorgadas a las zonas

industriales mencionadas, otros 183 km³ fueron concedidos para fines distintos del consumo, especialmente de producción hidroeléctrica (León, 2018).

Si analizamos más detenidamente las concesiones de agua en 2017 para los tres principales usos de consumo, vemos que 66.8 kilómetros cúbicos se destinaron al sector agrícola (76.3 % del total de concesiones), 12.6 kilómetros cúbicos a agua pública (14.4%) y 8.5 kilómetros cúbicos para la industria: 4.3 para la industria autosuficiente (4.9%) y 4.2 para la electricidad sin energía hidroeléctrica (4.7%). El sector con mayor crecimiento en el número de subvenciones concedidas entre 2001 y 2017 fue la contratación pública, con un aumento del 32.8 %, mientras que el sector agrícola e industrial creció un 18.3 y un 26.9 %. (figura 2.2.8).

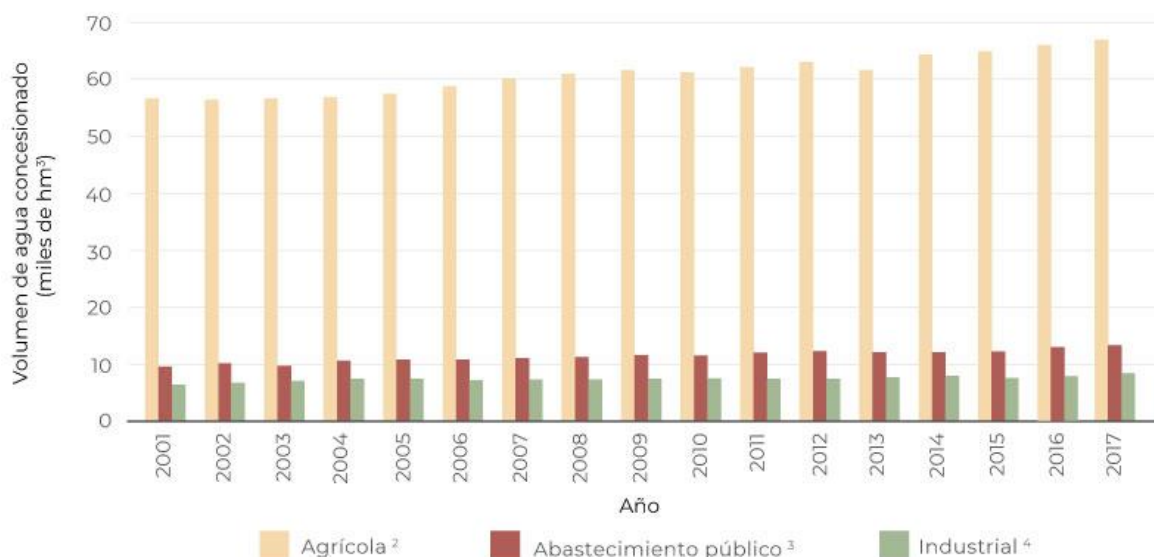


Figura 2.2.8 Volumen de agua concesionado por sector, 2001-2017 (León, 2018).

A nivel de zonas hidrológicas, el 53.7% (47,209 hm³) del volumen concesionado de 2017 provino de tan solo cuatro regiones: VIII Lerma Santiago Pacífico (15,845 hm³, 18% del total), IV Balsas (10,874 hm³, 12.4%), III Pacífico Norte (10,811 hm³, 12.3%) y VI Río Bravo (9,680 hm³, 11%). En contraste, las regiones con menor suministro de agua son la V Pacífico Sur (1,579 hm³; 2% del total) y la XI Frontera Sur (2,547 hm³; 3%), las cuales representan sólo el 5% del suministro total de agua del país.(figura 2.2.9) (León, 2018).

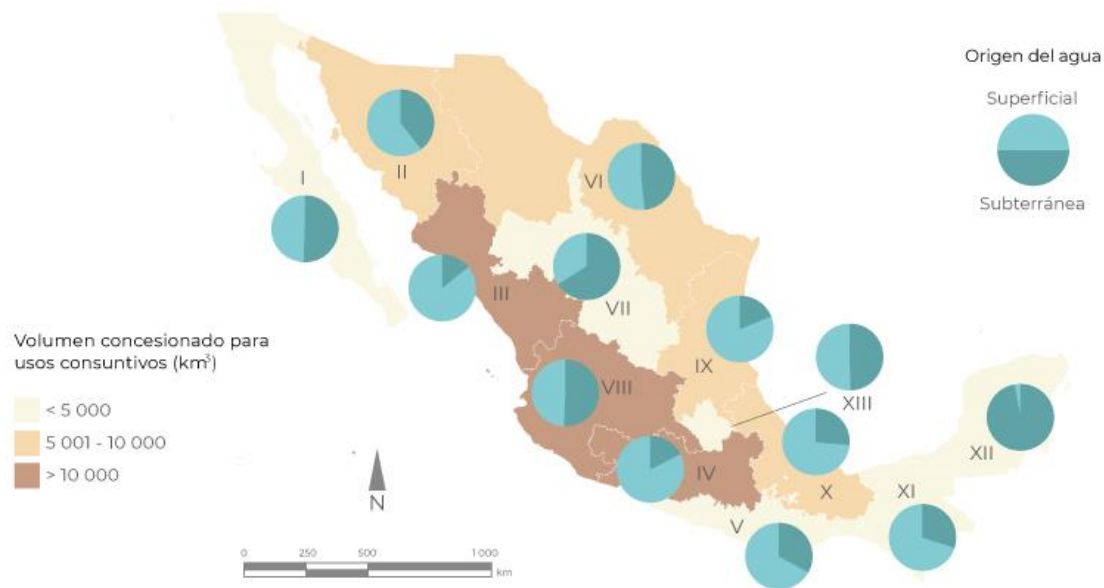


Figura 2.2.9 Volumen de agua concesionado por región hidrológico-administrativa y origen, 2017 (León, 2018).

Al analizar las fuentes de agua para consumo en 2017, la mayor proporción de agua para fines agrícolas e industriales (incluidos fines energéticos) provino de fuentes superficiales (64 y 68%, respectivamente); Sin embargo, el agua utilizada para fines públicos proviene principalmente de fuentes subterráneas (58%). Durante los años 2001-2017, la cantidad de agua autorizada de origen superficial aumentó un 15.3% para fines agrícolas (de 36.8 a 42.4 km³), para fines de abastecimiento público de agua aumentó un 59% (de 3.3 a 5.3 km³) y un 6% para fines de abastecimiento público de agua. Fines industriales (de 5 a 5.3 km³, figura 2.3.2). Durante el mismo período, la cantidad de agua subterránea utilizada para la agricultura aumentó un 23.8% (de 19.65 a 24.3 km³); el 18% para servicios urbanos (de 6.25 a 7.4 km³) y el 68.6% para fines industriales (de 1.59 a 2.7 km³, figura 2.3) (León, 2018).

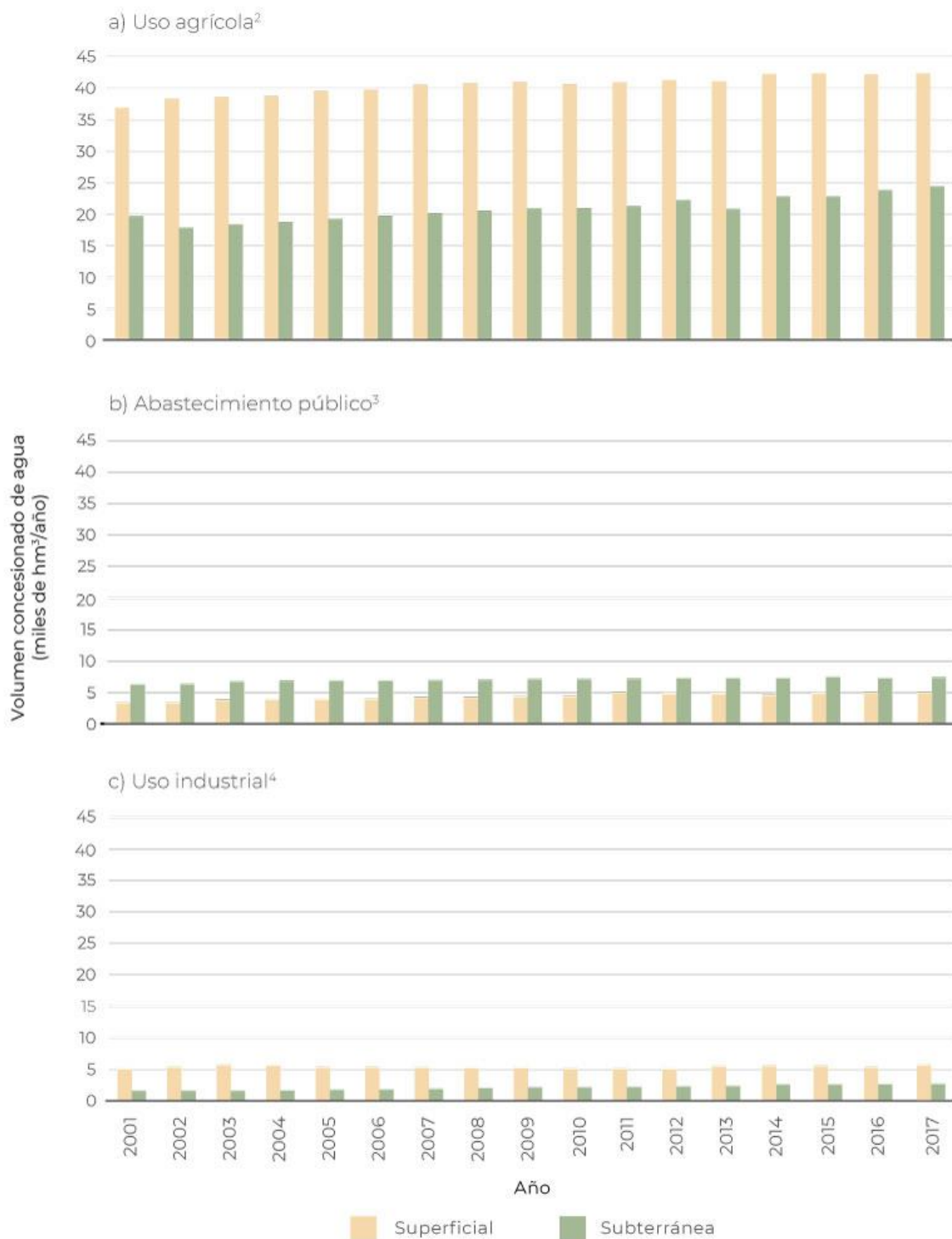


Figura 2.3 Volumen de agua concesionado por uso consuntivo según origen, 2001-2017 (León, 2018).

Si observamos el consumo de agua a nivel municipal, en 2017 poco más del 76% de los municipios (1.865) prestaron servicios de hasta 25 metros cúbicos de agua, y en el 16% (397 municipios), de 26 a 100 metros de bloque. en un 7% el volumen oscila entre 101 y 500 metros cúbicos. hectáreas (177 comunas), y poco menos del uno por ciento de las comunas (19) tienen concesiones de más de 500 hectómetro cúbicos (figura 2.3.1) (León, 2018).

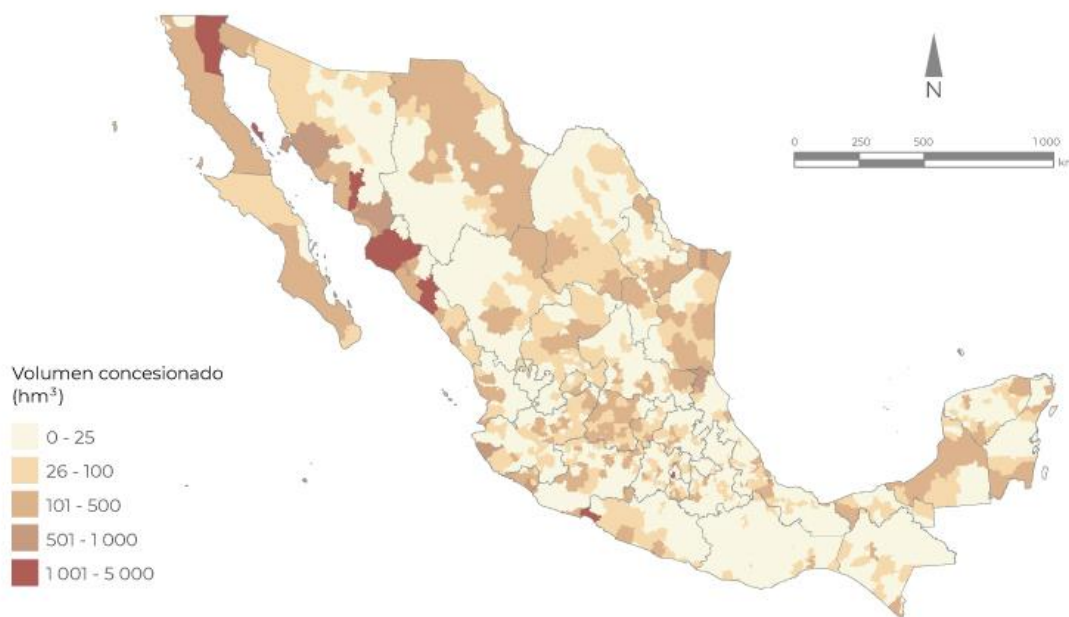


Figura 2.3.1 Volumen de agua concesionada por municipio, 2017 (León, 2018).

En términos de uso de consumo, el uso agrícola dominó en más del 63% de los municipios (1,554 municipios en total) en 2013, seguido por el suministro gubernamental (casi el 33% en 803 municipios) y solo el 2.2% en la industria de subsistencia (55 municipios); figura 2.3.2).

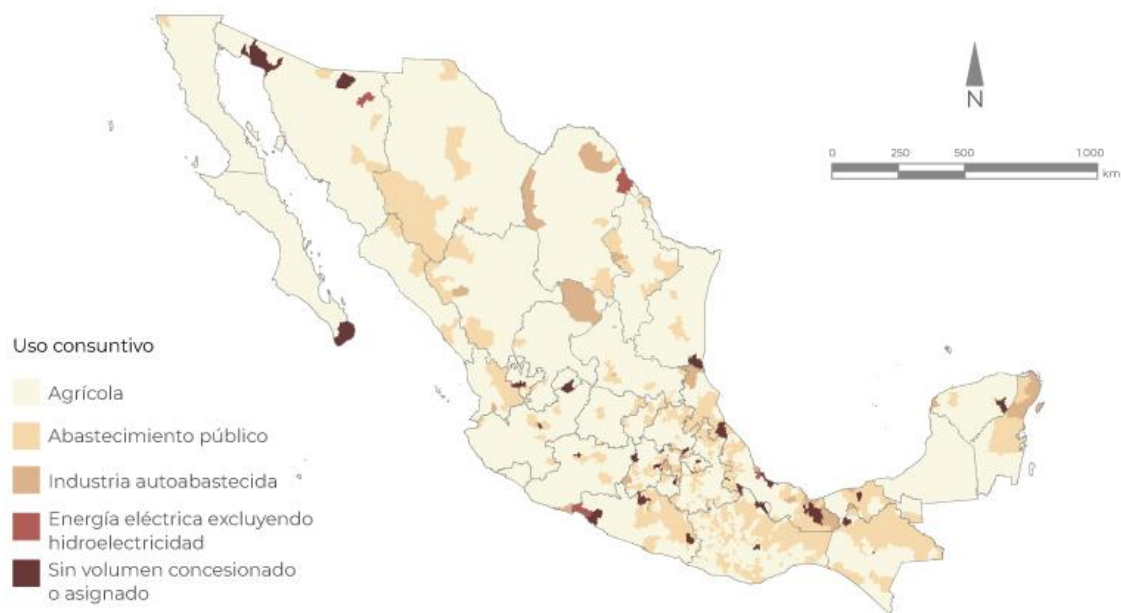


Figura 2.3.2 Uso consuntivo predominante del agua por municipio, 2013 (León, 2018).

Según el origen de las fuentes de agua autorizadas, en 2017, las fuentes de agua subterránea dominaban en 1,399 comunas (62.6% del total de comunas) y las fuentes de agua subterránea dominaban en 999 (casi el 35% de las comunas); En los municipios restantes (64; casi el 3%), una fuente no es mayor que la otra. (figura 2.3.3) (León, 2018).

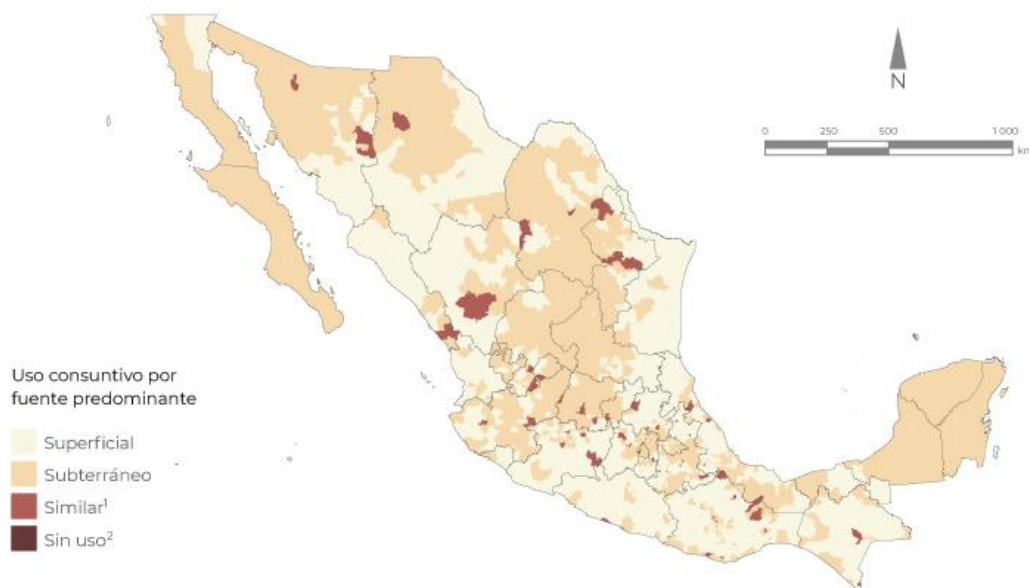


Figura 2.3.3 Fuente predominante para uso consuntivos por municipio, 2017 (León, 2018).

f) El agua en la agricultura

En México, el sector que más agua utiliza es la agricultura (Conagua, 2016b): en 2017, este sector recibió el 76% del volumen de la concesión (66.799 hm³), principalmente para riego, aunque también incluye tanto la ganadería como la acuicultura. Las concesiones de agricultura líquida para distritos de riego cubren el 18% del área agrícola total y generaron alrededor del 80% de la producción nacional en 2013.

El rendimiento hídrico en zonas irrigadas es un indicador útil para evaluar la eficiencia del uso de líquidos en la producción agrícola; Este índice depende no sólo de la conductividad desde el suministro hasta las ubicaciones sino también del tipo de cultivos y su uso. Las figuras 2.3.4 y 2.3.5 presentan la evolución del rendimiento en las zonas de regadío (incluidos cultivos de regadío y de secano) durante los años 1994-2016. La figura 2.3.7 muestra que, a pesar de algunas fluctuaciones, hay una tendencia creciente en la productividad; Durante el último año agrícola 2016-2017 se registró un valor de 1.82 kg de productos de biomasa por metro cúbico de agua utilizado. (León, 2018).



Figura 2.3.4 Volumen concesionado para uso agrícola en los distritos de riego en México, 2017 (León, 2018).

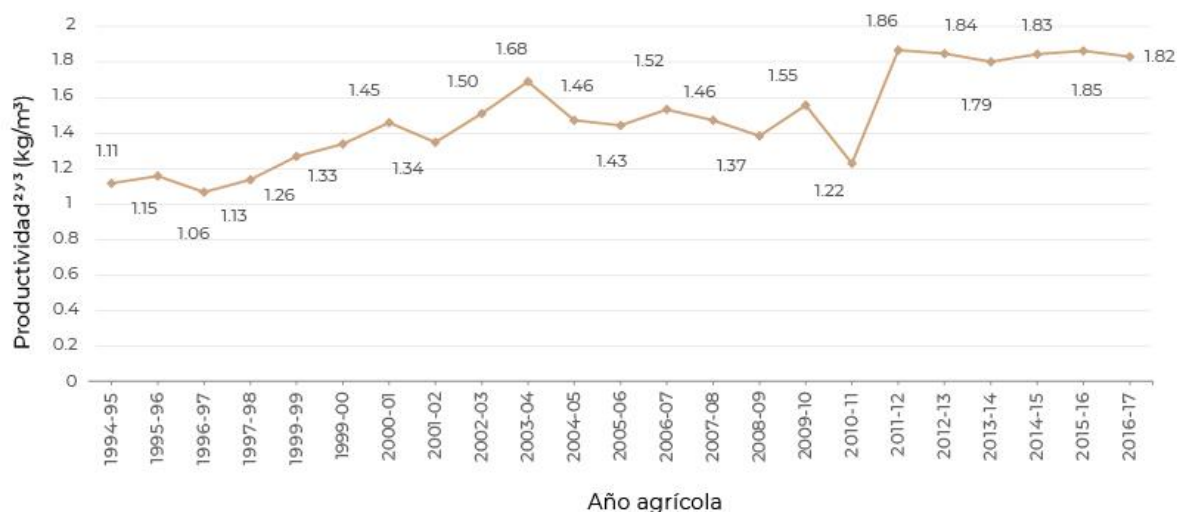


Figura 2.3.5 Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego por año agrícola (León, 2018).

g) Abastecimiento público

El agua del grifo es agua suministrada a través de redes de agua potable que abastecen tanto a clientes domésticos como al sector público urbano. Esta es la industria con el segundo mayor consumo de agua del país en términos de consumo: en 2017 se utilizó el 14.4% del suministro total de agua, siendo el principal abastecimiento el acuífero (58% del monto para la industria). Este utilizado es de 7.378 hm³; Sin embargo, se sabe que en los años 2001-2017. La demanda de agua superficial en este sector aumentó un 59% (de 3.306 a 5.250 hm³; figura 2.3.6) (León, 2018).

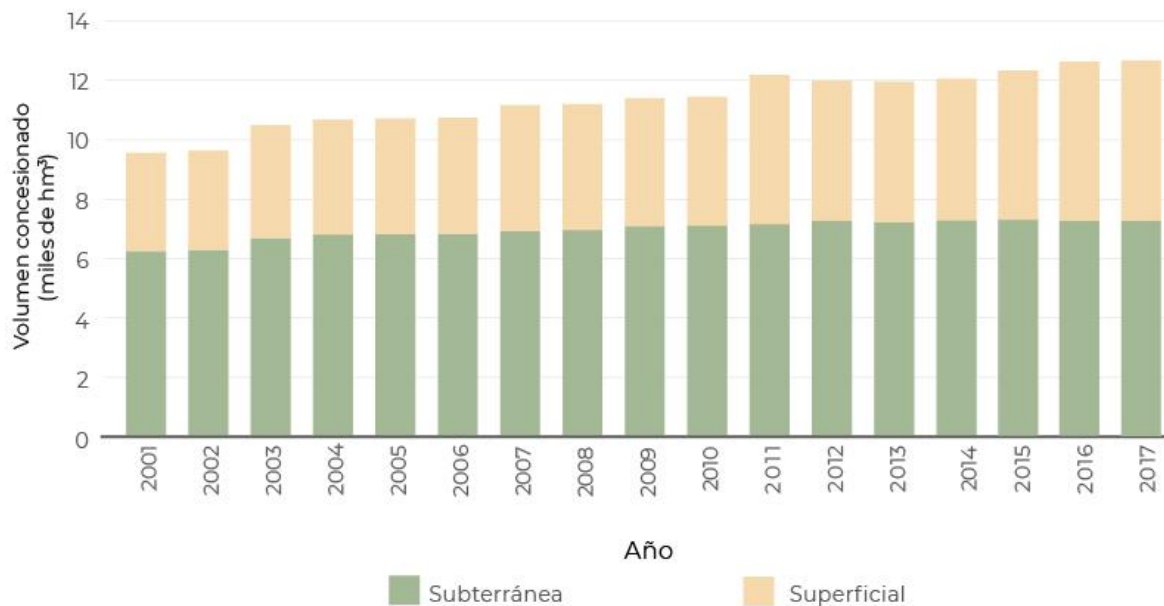


Figura 2.3.6 Volumen de agua concesionada para el abastecimiento público, 2001-2017 (León, 2018).

h) El uso de agua en la industria

La industria y la energía de subsistencia utilizaron alrededor del 9% del agua autorizada en 2017. En términos de suministro de agua, predominan las aguas superficiales (en 2001-2017 esta proporción osciló entre el 68 y el 77%, es decir, de 5.074 a 5.659 hm³), pero la producción de aguas subterráneas para uso industrial propósitos aumentaron algo más del 68.6%. En los años 2001-2017 alcanzó los 2.683 hm³; figura 2.3.7) (León, 2018).

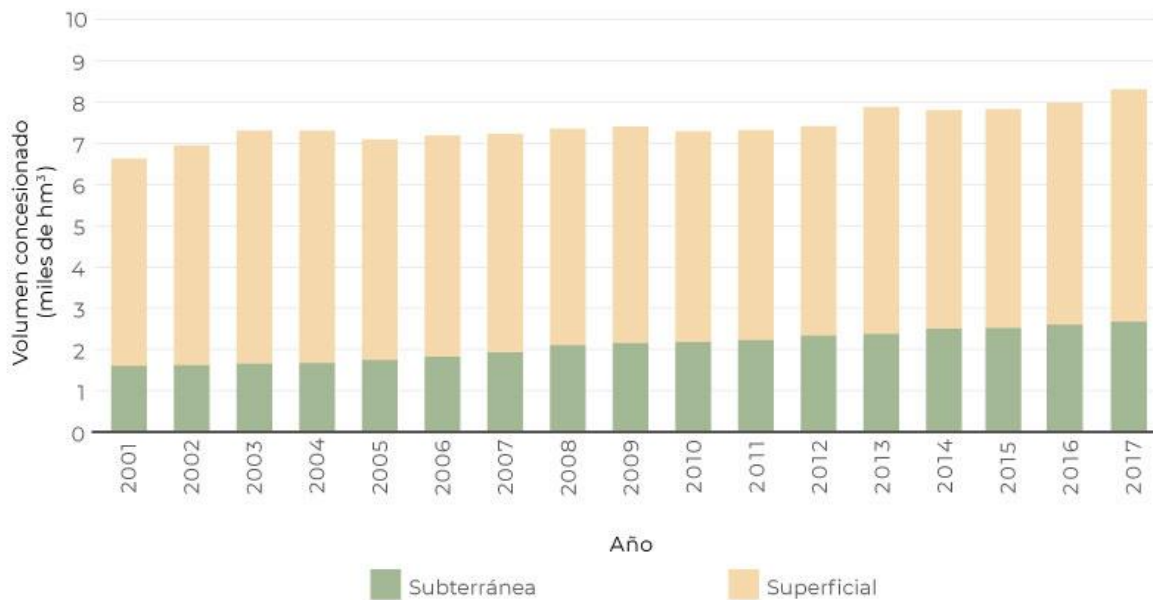


Figura 2.3.7 Volumen de agua concesionada para la industria autoabastecida, 2001-2017 (León, 2018).

i) Grado de presión de los recursos hídricos

En México, la Conagua divide los niveles de presión en 5 categorías. En 2017, nuestro país registró una GPRH de 19.5%, que la Conagua consideró en la categoría de “baja” presión. A nivel global, México ocupa el puesto 49 en la lista de países bajo mayor presión (León, 2018).

El GPRH nacional relativamente bajo no describe adecuadamente las presiones sobre los recursos en la región, lo que revela marcados contrastes. Este valor está significativamente influenciado por los abundantes recursos hídricos del sur del país, que capta menos del 8% del agua disponible. Sin embargo, en 2017, en las regiones I-Península de Baja California, II-Noroeste, III-Pacífico Norte, IV-Balsas, VI-Río Bravo, VII-Cuenca Central Norte y VIII-Lerma-Santiago-Pacífico, se registraron aumentos de presión de 40 se registraron hasta el 85%; El caso más extremo es el de Aguas del Valle; Figura 2.3.8).



Figura 2.3.8 Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).

j) Intensidad de uso de las aguas superficiales y subterráneas

La sostenibilidad del uso de los recursos hídricos superficiales se puede medir por la intensidad de uso, calculada como la relación entre la explotación de aguas superficiales y el caudal natural total promedio. De 2001 a 2017, la intensidad del uso de aguas superficiales en México aumentó poco más del 21%, de más del 11% a casi el 15%. En 2017, la Región XIII – Aguas del Valle de México fue una excepción ya que el consumo consuntivo fue más del doble del flujo natural promedio (figura 2.3.9). En las regiones VII-Cuenca Norte-Central, II-Noroeste y I-Península de Baja California, las intensidades de intensidad alcanzaron 80.5, 77.6 y 60.7%, respectivamente; En las regiones XI Frontera Sur, V Pacífico Sur y X Golfo Central, respectivamente, la intensidad oscila entre 1.4 y 5%. (León, 2018).



Figura 2.3.9 Intensidad de uso del agua superficial por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).

En el caso de las aguas subterráneas, la presión se mide por la llamada intensidad de uso del agua subterránea y se calcula como la relación entre la producción de agua subterránea y la recarga promedio del acuífero o en relación con ella. Durante los años 2001-2017, la intensidad del uso de aguas subterráneas en el país se mantuvo en aproximadamente el 37%. Sin embargo, se observan contrastes regionales. En 2017, en las regiones I-Península de Baja California, VII-Cuenca Central Norte y XIII-Aguas del Valle de México, el uso de agua superó la recarga total de los acuíferos (122, 102 y 104, respectivamente).; Sin embargo, en la Región XI “Frontera Sur” la intensidad de uso es sólo del 3%, mientras que en las regiones restantes la intensidad de uso oscila entre el 18 y el 91%. (figura 2.4) (León, 2018).



Figura 2.4 Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2017 (León, 2018).

k) Acuíferos sobreexplotados y en otras condiciones

En 2018, había 115 acuíferos sobreexplotados, lo que representa alrededor del 18% del total de 653 acuíferos registrados. La distribución de los acuíferos sobreexplotados es desigual: 103/115 acuíferos sobreexplotados se encuentran en 5/13 distritos administrativos e hidrológicos. Los acuíferos sobreexplotados se concentran principalmente en las cuencas III-Lerma-Santiago-Pacífico, VII-Norte Central, VI-Río Bravo, I-Península de Baja California y II-RHA Noroeste (Tabla 2.2.2); Desde aquí se explota el 58,5% del agua subterránea para todas las necesidades de consumo del país.

Tabla 2.2.2 Condición de los acuíferos por región hidrológico-administrativa, 2018

	Región hidrológico- administrativa	sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	Sin problemas	Total de acuíferos
I	Península de Baja California	18	11	5	54	88
II	Noroeste	10	5	0	47	62
III	Pacífico Norte	5	0	0	19	24
IV	Balsas	1	0	0	44	45
V	Pacífico Sur	0	0	0	36	36
VI	Río Bravo	20	0	8	74	102
VII	Cuencas Centrales del Norte	24	0	18	23	65
VIII	Lerma- Santiago- Pacífico	31	0	0	97	128
IX	Golfo Norte	2	0	0	38	40
X	Golfo centro	0		0	22	22
XI	Frontera Sur	0	0	0	23	23
XII	Península de Yucatán	0	2	1	1	4
XIII	Aguas del Valle de México	4	0	0	10	14
	Total nacional	115	18	32	488	653

Algunos acuíferos sobreexplotados también causan problemas de salinidad debido a la intrusión de agua de mar o de aguas subterráneas saladas. En grandes zonas irrigadas, especialmente en zonas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha reducido el nivel freático en varios metros, permitiendo que el agua de mar se filtre y el consiguiente deterioro de la calidad del agua. En 2018, 18 acuíferos encontraron problemas de intrusión de sal en las Regiones I - Península de Baja California, II - Noroeste y XII - Península de Yucatán. Existen 32 acuíferos con problemas de salinidad y aguas subterráneas en las regiones I-Península de Baja California, VI-Río Bravo, VII-Cuenca Central Norte y XII-Península de Yucatán. (Tabla 2.2.2 anterior; Figura 2.4.1) (León, 2018).



Figura 2.4.1 Condición de los acuíferos en México, 2017 (León, 2018).

I) Agua potable

Para México, la cobertura nacional de agua potable fue del 95.3% de la población en 2015 (figura 2.4.2), superior al promedio mundial (80%) y a los países de América Latina y el Caribe (80%), pero inferior a países como México. Estados Unidos, Francia y Canadá cubren casi la totalidad de sus poblaciones. El análisis a nivel de hogares muestra que entre 1990 y 2015, el uso de agua del grifo en los hogares aumentó del 78.4 al 93.5 por ciento, lo que equivale a alrededor de 113.9 millones de personas el año pasado. Durante este período, la cobertura aumentó del 89.4 al 97.8% en las zonas urbanas y del 51.2 al 86.9% en las zonas rurales.

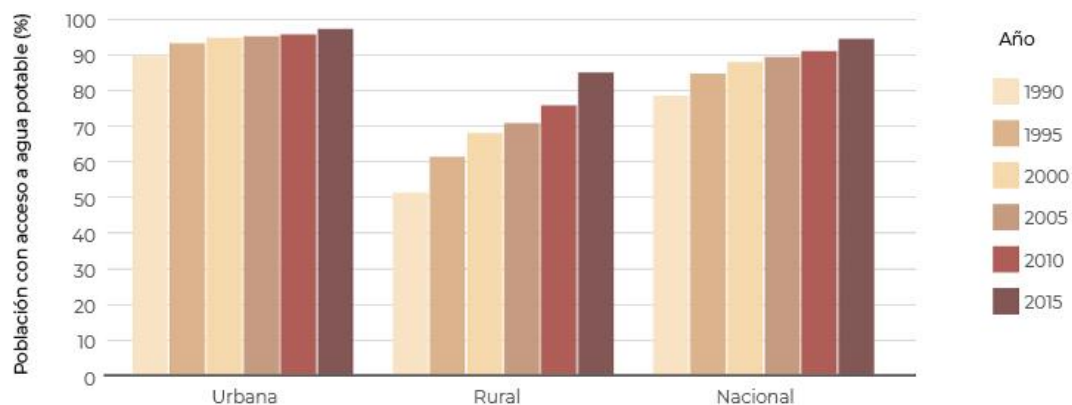


Figura 2.4.2 Cobertura de agua potable en México, 1990-2015 (León, 2018).

Según Conagua e INEGI, en 2015 y 2016, las ciudades de Aguascalientes (99%) y Ciudad de México (98.6%) tuvieron las tasas más altas de acceso mejorado al

agua, mientras que las más bajas fueron Guerrero, Oaxaca y Chiapas (84, 85 y 86%) respectivamente; figura 2.4.3).



Figura 2.4.3 Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2016 (León, 2018).

2.3. Definición de agua potable

El agua potable es agua apta para uso humano, es decir, agua que puede beberse directamente o utilizarse para lavar y/o cocinar sin causar ningún daño a la salud. (Etecé, 2021).

El agua es extremadamente común en nuestro planeta y, debido a que es un solvente común, a menudo contiene muchos elementos y sustancias disueltas en ella, que pueden (pero no necesariamente deben) detectarse a simple vista y cambiar (o no) su olor, color y sabor, constituyen así la amenaza más potencial para el cuerpo humano.

Por eso no hay mucha agua potable en el planeta, aunque existen mecanismos artificiales de purificación, porque de la calidad del agua depende en gran medida la salud de la comunidad o de las personas.

Muchos casos de epidemias o intoxicaciones masivas se deben a la presencia de sustancias tóxicas o patógenos infecciosos.

Por lo tanto, los recursos de agua potable disponibles en el mundo están constantemente amenazados por la contaminación del agua, el suelo y el aire, porque grandes masas de agua, como mares y océanos, no son aptas para el uso humano debido al contenido de sal disuelta en ellas es muy grande.

Características del agua potable

Según la normativa de la Unión Europea, el agua potable debe tener el contenido de sales, minerales y iones (sulfatos, cloratos, nitritos, amonio, calcio, fosfatos, etc.) dentro de límites permisibles, es decir, un pH de 6,5 a 9,5 (Etecé, 2021).

Por otro lado, debe estar lo más libre posible de bacterias y microorganismos patógenos (virus, etc.), así como de partículas en suspensión y sustancias orgánicas o radiactivas. Esto significa que la pureza es de nivel medio, adecuada para el uso general y diario.

a) ¿Cómo se obtiene el agua potable?

El agua potable se deriva naturalmente del hielo polar, de los arroyos de montaña o de la superficie terrestre y generalmente requiere solo una simple desinfección con cloro terapia, ozonoterapia, luz ultravioleta u otros mecanismos para matar los microorganismos de vida libre que estén presentes (Etecé, 2021).

Sin embargo, estos recursos naturales no siempre están disponibles en las cercanías y, por lo general, los cuerpos de agua deben tratarse mediante uno o más de los siguientes procesos:

- 1) Procesos de filtrado. Al decantar sobre diferentes medios, filtrar los sólidos presentes o eliminar compuestos volátiles.
- 2) Procesos de depuración física. Al igual que la evaporación selectiva, también es útil para eliminar la sal del agua de mar, ya sea mediante ósmosis inversa o destilación.
- 3) Hervido. Un procedimiento casero común consiste en hervir agua durante unos minutos para matar los microorganismos que contiene. Sin embargo, no es eficaz contra solutos y residuos físicos.

b) ¿Para qué sirve el agua potable?

El Utilizamos agua potable principalmente para consumo directo, es decir, para beber, preparar o lavar los alimentos que ingeriremos. También utilizamos agua potable para bañarnos o lavarnos la cara, aunque en muchos países se distingue entre agua para este fin (la obtenemos de la tubería) y agua mineral para beber (que compramos en paquetes).

De manera similar, el agua potable es esencial en la industria alimentaria porque la agricultura suele utilizar agua reciclada o purificada. Se utiliza en la preparación de alimentos y bebidas, así como en la elaboración de medicamentos y otros productos químicos, para la limpieza de hospitales, etc.

c) Importancia del agua potable

El agua potable, aunque no lo parezca, es un recurso limitado. Es mucho más fácil contaminar un litro de agua que volver a apta para el consumo humano, y cuando

nuestras ciudades utilizan miles de millones de litros de agua cada día, invertir en el tratamiento del agua es cada vez más caro.

La OMS ha advertido repetidamente sobre un vínculo directo entre la incidencia de la diarrea y otras enfermedades y el acceso al agua potable para las poblaciones más desfavorecidas del mundo. Cuanto más ignoramos el agua y limitamos el impacto de la civilización sobre ella, más susceptibles seremos a las consecuencias para la salud asociadas con ella. (Etecé, 2021).

d) Agua potable existente en el mundo

Cuando pensamos en el agua que hay en el mundo, todos imaginamos nuestro planeta “azul” cubierto de océanos, lo que nos da la sensación de que hay mucha agua. Sin embargo, esto no es del todo cierto. Con motivo del Día Mundial del Agua, celebrado el 22 de marzo, las Naciones Unidas quieren recordar que 2.200 millones de personas en la Tierra actualmente no tienen acceso al agua potable (Simón, 2021).

El agua es esencial para la supervivencia del planeta. Sin él, la vida y la biodiversidad tal como la conocemos desaparecerían. Las actividades humanas requieren enormes cantidades de agua para realizar la mayoría de las actividades diarias. Sin embargo, este preciado recurso escasea y cada día nos acercamos más a una peligrosa escasez de agua.

Nuestro planeta azul contiene alrededor de 1.386 millones de km³ de agua y esta cantidad de agua no ha disminuido ni aumentado durante los últimos dos mil millones de años. Se estima que el 97% del agua es salada y sólo el 2.5% del agua de la Tierra se considera agua dulce. Si se tiene en cuenta que el 90% del agua dulce del planeta se encuentra en la Antártida, la sensación de abundancia disminuye. Sólo el 0.5% del agua dulce se encuentra en embalses subterráneos y el 0.01% en ríos y lagos.

Entonces, ¿cuánta agua potable hay en la Tierra? El agua dulce está formada en un 70% por agua congelada en los glaciares y un 30% en suelos húmedos o acuíferos. El 1% restante se produce en cuencas hidrológicas y sólo el 0.025% es apto para beber. Como resultado, los datos oficiales dicen que sólo el 0.007% del agua de la Tierra es apta para beber, y esta cantidad de agua disminuye cada año debido a la contaminación.

Nos hace darnos cuenta de que el agua es un recurso escaso y limitado, y un derecho en un mundo desigual. La falta de acceso causa pobreza, desigualdad, injusticia social y crea enormes disparidades en las oportunidades que ofrece la vida.

Las Naciones Unidas confirman que más del 40% de la población mundial carece de agua potable. Cada día, casi mil niños mueren a causa de enfermedades

prevenibles causadas por diarrea relacionada con el agua y el saneamiento. (Simón, 2021).

e) El agua como derecho

Las Naciones Unidas reconocen el acceso al agua y al saneamiento como un derecho humano básico porque son elementos esenciales de la vida de todas las personas. La falta de acceso a agua, saneamiento e higiene seguros, accesibles, asequibles y adecuados tiene un impacto devastador no solo en la salud sino también en la dignidad de millones de personas, así como en otros derechos básicos como la educación (Edeso, 2021).

El derecho humano al agua es esencial para una vida digna y un requisito previo para la realización de otros derechos humanos. Por tanto, el agua debe verse como un bien cultural y social, no sólo como un bien económico. En este sentido, la Observación General No. 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas (Comité CDESC) declaró en su preámbulo que el agua es un recurso natural finito y una mercancía. La química pública es de fundamental importancia para la vida y la salud. Según el Programa Conjunto de Vigilancia de los Sistemas de Abastecimiento de Agua y Saneamiento implementado por la Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (OMS/UNICEF), el agua potable es el agua utilizada para fines de higiene del hogar y uso personal, así como para beber y cocinar. En el mismo sentido, agua potable es agua cuyas propiedades físicas, químicas y microbiológicas se ajustan a las recomendaciones de la OMS o a las normas nacionales de calidad del agua potable. El plan estipula que una persona tiene acceso a agua potable si la fuente de agua está a menos de un kilómetro del punto de uso y si cada miembro de la familia puede obtener de manera confiable al menos 20 litros por día; El acceso de la población al agua potable se refiere al porcentaje de personas que utilizan las mejores fuentes de agua potable, a saber: conexiones domiciliarias, fuentes públicas, pozos profundos, protección de pozos excavados, agua de manantial protegida y agua de lluvia. (Gallegos, 2014).

La accesibilidad es un elemento importante en el derecho al agua porque el uso de este recurso debe estar garantizado para todos. Hay suficiente agua en el mundo para satisfacer estas necesidades, pero su distribución equitativa plantea muchos desafíos. En promedio, el consumo doméstico mundial de agua representa menos del 10% del consumo total y proviene principalmente de la agricultura y la industria. Se estima que 2,300 millones de personas viven en lugares con riesgo de escasez de agua (Edeso, 2021).

Si bien los países no están obligados a proporcionar agua y saneamiento gratuitos, el derecho al agua establece que estos servicios deben ser suficientemente accesibles para que las personas no tengan que elegir entre el agua y otros derechos como la alimentación, la educación, la vivienda o la salud.

f) Cantidad de agua utilizada para la elaboración de productos

Se necesita más agua para producir alimentos de lo que pensamos. Y en ocasiones algo tan sencillo como comerse una bolsa de patatas implica utilizar grandes cantidades de agua para elaborarlas (Sermerón, 2018).

La huella hídrica es una medida de la cantidad de agua dulce utilizada para producir los bienes que consumimos. Cada vez somos más conscientes de la sostenibilidad del planeta y uno de los aspectos que más nos preocupa es la conservación del agua, porque utilizamos más de la que pensamos (Burgada, 2022).

¿Cuánta agua se necesita para cocinar los platos más emblemáticos de nuestra cocina?

Si hablamos de medio kilo de mantequilla, su producción requiere unos 2,700 litros de recursos hídricos; por medio kilogramo de queso: 2,500 litros; para una hamburguesa: unos 2,400 litros; y una bolsa de patatas fritas es de 185 litros.

En cuanto a legumbres y cereales, el arroz es el que más agua consume: 1.700 litros por medio kilo. Se necesitan 500 litros de agua para producir medio kilo de trigo; por medio kilogramo de maíz - 450 litros; y 25 litros por medio kilo de lentejas. Algunas aceitunas, como las que puedes comprar en el bar, requieren 250 litros de agua. Una manzana requiere 70 litros de agua; y en el caso de las naranjas – 50 litros.

En el grupo de las bebidas, se necesita la mayor cantidad de agua para producir leche: 1.000 litros para producir un litro de leche. 840 litros de agua para hacer una lata de café; 720 litros/botella de vino; 190 litros por vaso de zumo de manzana; 106 litros de agua para producir una cerveza; o 35 litros por una taza de té. Como puedes ver, la producción de cada producto alimenticio afecta al agua. Esto significa que el consumo de alimentos debe ser sostenible (Sermerón, 2018).

La alimentación y la agricultura son las dos actividades que requieren más recursos hídricos. De hecho, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que la industria agroalimentaria requiere una 100 veces más agua de la que utilizamos para fines personales. Para dar una imagen más precisa de esta situación: el riego, necesario para realizar las tareas agrícolas y ganaderas, consume hasta el 70% del agua extraída de ríos y sedimentos subterráneos. 20% para uso industrial y 10% para uso doméstico.

Por otro lado, la industria cárnica necesita más agua que la industria hortofrutícola. La FAO estima que se necesitan entre 5,000 y 20,000 litros de agua para producir 1 kg de carne. Si comparamos estas cifras con los indicadores agrícolas, se necesitan entre 500 y 4.000 litros de agua para producir 1 kg de cereales como el centeno (Rodrigo E. C., 2017).

Aunque sorprende que uno de los productos que más agua requiere para su elaboración sea el chocolate, que requiere 17,000 litros de agua para producir 1 kg de producto. Los productos que requieren la menor cantidad de agua para producirse incluyen el té, la cerveza y el vino. En comparación con la producción de carne, los productos vegetales requieren mucha menos agua (Sermerón, 2018).

La ropa es otro departamento que recibe atención debido al consumo invisible de agua que conlleva. Para producir pantalones vaqueros se necesitan 8,000 litros de agua. Producir un kilogramo de algodón consume 10,000 litros de agua (Burgada, 2022).

1 kilo de carne = 10,000 litros.

1 vaso de leche = 200 litros.

1/2 kilo de pollo = 2.000 litros

1/2 kilo de pasta = 500 litros

1 litro de cerveza = 300 litros

1 litro de vino = 900 litros

1 litro de agua embotellada = 3 litros de agua

1 traje de caballero = 5,500 litros

1 par de zapatillas de deporte = 4,400 litros

1 pantalón vaquero = 3,000 litros

1 media de mujer = 1/2 litro

1 huevo de gallina = 450 litros

1 automóvil = 148,000 litros

1 barril de petróleo (refinamiento) = 7,000 litros

1 taperware = 2,000 litros

1 botella de plástico de 1 litro = 80 litros

1 hoja de papel (A4) = 10 litros

2.4. Definición de agua para la industria

El agua industrial es toda el agua producida a partir de actividades industriales. Después de su uso, deben ser tratados antes de ser devueltos al medio ambiente, a los sistemas sanitarios o reutilizados. Asimismo, debido a que existen muchos

tipos diferentes de agua de proceso, habrá diferentes soluciones de tratamiento de aguas residuales (Bartual, 2021).

a) Diferencias según el tipo de industria

Casi todas las industrias, independientemente de la industria, generan grandes cantidades de agua a través de sus procesos, ya sean de fabricación, producción, conversión, tratamiento, mantenimiento o consumo. Las aguas residuales industriales son de diferentes tipos porque dependiendo de la industria y el proceso productivo pueden cambiar completamente sus propiedades y por tanto contener diferentes tipos de contaminantes. Por tanto, sus características son importantes en cada caso (Bartual, 2021).

Después de su uso, el agua debe devolverse al medio ambiente, drenarse o reutilizarse, y para ello es necesario previamente depurar el agua. Si se devuelven al medio natural, el tratamiento debe garantizar que los residuos no causen ningún impacto en el medio ambiente. Sin embargo, en caso de vertido al sistema de drenaje público, su composición debe cumplir plenamente con los parámetros físicos y químicos según la normativa vigente. Finalmente, si se reutiliza, debe poder restaurar sus propiedades originales y cumplir con la normativa aplicable a la reutilización del agua reciclada.

Dado que el agua es un recurso natural valioso y cada vez más escaso, es importante que la industria pueda reutilizarla para obtener beneficios económicos y ambientales.

b) Tipos de tratamiento de aguas industriales

Básicamente existen tres tipos de tratamiento de aguas industriales para eliminar contaminantes:

Tratamiento físico. Como sugiere el nombre, este paso incluye una serie de métodos de tratamiento físico diseñados para eliminar desechos más grandes como grasa, arena, aceite y otros sólidos. Esto se puede realizar mediante tamices, separadores, filtros, trampas de arena o métodos de decantación, así como membranas de ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa (Bartual, 2021).

Tratamiento químico. En el caso del tratamiento químico se puede realizar un tratamiento de oxidación avanzado, en el que se introducen agentes químicos oxidantes como ozono, agua oxigenada o cloro, que convierten la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Por otro lado, se pueden añadir coagulantes y coagulantes químicos para facilitar la agregación de sustancias orgánicas en flóculos, permitiendo que sedimenten o sedimenten.

Tratamiento biológico. Por otro lado, el tratamiento biológico implica el uso de bacterias y microorganismos que se alimentan de materia orgánica biodegradable

para eliminar nutrientes del agua. Están disponibles varias configuraciones, como nitrificación-desnitrificación MBR o sistemas convencionales.

c) Planta de tratamiento de aguas industriales

La instalación de una planta de tratamiento de agua industrial permite reutilizarla, verterla a la red pública de aguas residuales o devolverla al medio natural sin dañar el ecosistema. Recuerde que los equipos utilizan diferentes mecanismos según la industria en la que estén instalados y el tipo de agua a tratar (Bartual, 2021).

d) El agua en la industria alimentaria

En la producción de alimentos y bebidas, la pureza del agua afecta directamente a su calidad. Se utiliza comúnmente para dilución, preparación, curado, etc. Por este motivo, el tipo de agua más utilizado en este campo es el agua potable (Carbotecnia, 2020).

El agua potable es agua considerada apta para el consumo humano; Para ello se han establecido parámetros (límites microbiológicos, físicos, químicos, etc.), por lo que el agua puede incluirse en esta categoría. En México, el regulador de la calidad del agua es la Secretaría de Salud (SSA) y utiliza como herramientas la NOM-127-SSA1-1994, la NOM-201-SSA1-2015 y otras normas.

Para la obtención de agua potable los métodos más comunes son: desinfección, filtración de partículas, ablandamiento, ósmosis inversa, ozonización y desinfección ultravioleta.

La “desinfección” es el uso de ciertos químicos (generalmente cloro) para reducir o matar microorganismos. La filtración granular implica el uso de filtros para retener las partículas en suspensión, utilizando frecuentemente materiales como arena de sílice, antracita, zeolita o material de lecho (mezcla de materiales). Otro paso de limpieza importante es el paso por carbón activado para preservar los subproductos y la materia orgánica del proceso de desinfección, así como el color y el olor. (Carbotecnia, 2020).

Las resinas de intercambio iónico se utilizan para ablandar y eliminar las sales que causan la dureza del agua (que contienen iones como Ca^{2+} y Mg^{2+}). Si necesita obtener agua con una concentración de sal muy baja, utilice la ósmosis inversa, este es un método bastante eficaz para eliminar la sal.

Cabe destacar que el uso de la ósmosis inversa tiene como objetivo producir agua potable de una calidad superior a la normal, pero también hay casos en los que es necesario porque la calidad del agua que recibe la industria es muy mala o si el proceso aún no ha finalizado y necesita agua más limpia.

Es importante entender los procesos y todas sus variables en detalle. Hay casos en los que se requiere un control estricto del pH o TDS.

e) El agua en la industria farmacéutica

La producción de productos farmacéuticos requiere agua de muy alta calidad tanto para la producción como para el mantenimiento y limpieza de los equipos utilizados. La industria farmacéutica necesita agua de calidad farmacéutica, obtenida del agua potable. El proceso de obtención es similar a la obtención de agua potable, pero se requiere de una etapa de ósmosis inversa, es decir, sustituirla por otra tecnología de deionización. La ósmosis inversa se utiliza normalmente en dos etapas, lo que da como resultado agua de excelente calidad, pero hay situaciones en las que se necesitan tres etapas en las que el agua tiene un uso muy importante en el proceso. Existen tres tipos principales de aguas farmacéuticas, cada una destinada a procesos diferentes:

- 1) Agua purificada. Se utiliza comúnmente para producir productos no estériles, así como para limpiar equipos y materiales de laboratorio usados.
- 2) Agua altamente purificada. Se obtiene mediante métodos como la ósmosis inversa, la deionización (utilizando resinas de intercambio iónico) y/o la ultrafiltración. La ultrafiltración implica el uso de membranas de alta capacidad para retener suspensiones y microorganismos que varían en tamaño entre 0.001 y 0.1 micras.
- 3) Agua para inyección. Se obtiene por destilación de etapa final. La diferencia entre agua de alta pureza y agua para inyectables es la etapa final (destilación) para obtener el agua para inyectables. El agua destilada es un método en el que el agua después de hervir se condensa para crear un líquido libre de impurezas con muchos puntos de ebullición diferentes. Normalmente, los laboratorios utilizan agua destilada para preparar productos y purificar ingredientes especializados. (Carbotecnia, 2020).

Las plantas farmacéuticas sin agua potable deberán producir, tratar y suministrar agua para fines farmacéuticos.

f) El agua en la industria minera

Es de gran importancia en la industria minera, se utiliza principalmente para refinar minerales, así como para las operaciones individuales que realizan ciertos equipos (trituration, transporte de materiales, secado) y depurarlos.

El agua necesaria en la minería no tiene por qué ser necesariamente de alta pureza como es el caso de las industrias alimentaria y farmacéutica. debe introducirse en el agua después de su uso en procesos.

Los productos obtenidos de la industria minera a menudo requieren lavado con agua y productos químicos para lograr un nivel de separación física que separe el producto mineral deseado de los muchos otros compuestos que contiene. (Carbotecnia, 2020).

g) Agua utilizada para la industria química

Los principales usos del agua en la industria son:

Aparatos sanitarios: se utiliza en aseos, duchas y zonas de higiene personal. Transferencia de calor o enfriamiento: Son los métodos más comunes en aplicaciones industriales donde se utiliza mayor cantidad de agua.

Aproximadamente el 80% del agua de proceso es apta para este fin, siendo las centrales térmicas y nucleares las que utilizan la mayor parte del agua.

Generación de vapor: Generalmente destinado a proporcionar un medio de calentamiento del producto que se fabrica.

Materias primas: se puede agregar agua al producto final, como en la producción de bebidas, o puede proporcionar el ambiente apropiado para reacciones químicas específicas. Utilizado como disolvente en muchos procesos de producción diferentes. Limpieza de instalaciones, Generación de electricidad: Se refiere a plantas hidroeléctricas y se refiere a operaciones en las que se utiliza vapor para hacer girar turbinas (Rodrigo M. , 2020).

Las industrias químicas y de refinación de petróleo consumen el 11% del agua dulce. A nivel mundial, la industria en su conjunto consume entre el 5 y el 10% de los recursos de agua dulce. Con el crecimiento de la industria química, existe la necesidad de desarrollar opciones de tratamiento de agua y aguas residuales más eficientes ambientalmente (Mijangos, 2016).

El agua se utiliza en la industria para limpieza, calefacción, refrigeración, generación de vapor, transporte, como disolvente y como parte de productos más complejos. Encontrar formas ambientalmente eficientes de gestionar los recursos hídricos reducirá la competencia por recursos escasos entre la industria, las ciudades y la agricultura, especialmente en áreas donde el agua es un bien escaso, como el sur de Europa.

El agua juega un papel esencial; No es sólo el compuesto químico más importante para la supervivencia de la humanidad, sino también un componente clave de la industria procesadora, los procesos de fabricación y el desarrollo de una economía basada en la biotecnología. El agua también es esencial para el desarrollo de una economía circular.

h) Agua en las calderas de la industria química

Hoy en día utilizamos calderas en casi todos los procesos industriales. Estas máquinas se encargan de generar vapor calentando agua con calor generado por el consumo de combustible no nuclear o mediante resistencias eléctricas.

Dado que el agua es la principal fuente de energía de las calderas, es importante conocer las propiedades de este recurso. Esto permitirá la selección precisa del

equipo de tratamiento de agua necesario para eliminar contaminantes y controlar la eliminación de compuestos orgánicos, sedimentos y corrosión.

En este sentido cabe destacar que la calidad del vapor es directamente proporcional a la calidad del agua de alimentación. Esto significa que, si se comienza con un buen pretratamiento del agua, la eficiencia de la caldera y la calidad del vapor estarán garantizadas. Al realizar el tratamiento de agua en una caldera, la tarea principal es, en primer lugar, prevenir la formación de lodos, la corrosión en la caldera y la corrosión en la zona de condensación.

Por un lado, la formación de incrustaciones se produce debido a un tratamiento inadecuado del agua de alimentación. Pueden provocar un sobrecalentamiento local de la caldera, provocando grietas en las tuberías y la formación de depósitos, lo que sin duda conducirá a un aumento significativo del consumo energético.

La corrosión, por otro lado, es un ataque químico que se produce en una superficie metálica y que eventualmente provoca la pérdida de la pieza. La corrosión puede ser causada por oxígeno disuelto, dióxido de carbono o la presencia de ciertas sales como los cloruros. (Pérez, 2021).

El tratamiento del agua de la caldera es esencial para garantizar la longevidad de su equipo. No hay problemas operativos, no se necesitan reparaciones inesperadas ni accidentes potenciales.

Para garantizar esta calidad también es prioritario el cumplimiento de la normativa vigente, que establece valores límite recomendados para los parámetros de tratamiento del agua en función del tipo de caldera y la presión de funcionamiento al trabajarla.

Ignorar el tratamiento del agua de la caldera puede resultar en reparaciones costosas, mantenimiento continuo o costos significativos de combustible. Más desgaste total del equipo.

Por ejemplo, usar agua dura; Aquellos con alto contenido de minerales, especialmente sales de magnesio y calcio, pueden causar daños no sólo a la caldera sino también a tuberías, torres de enfriamiento y otros componentes involucrados en el mismo proceso.

i) Análisis físico-químico del agua para caldera

Es importante realizar análisis físicos y químicos del agua para determinar el método de tratamiento más adecuado para el agua de la caldera. Para ello, tenga en cuenta los siguientes parámetros:

- 1) **Sólidos en suspensión:** Estos sólidos se pueden eliminar mediante filtración. En la mayoría de los casos, los medios filtrantes como la zeolita eliminan sedimentos y partículas de óxido 2.8 veces más eficientemente que la arena de cuarzo convencional. Este proceso de filtración es el primer paso

que se debe realizar en cualquier sistema de tratamiento de agua de caldera (Pérez, 2021).

- 2) **Sólidos disueltos totales:** Son minerales disueltos que se pueden encontrar en el agua. Por ejemplo: carbonato de calcio, sulfato de calcio, sílice, sulfato de magnesio, hierro o aluminio. A medida que el agua se evapora, los minerales disueltos y suspendidos en el agua permanecen en la caldera y aumentan de tamaño. Por lo tanto, después de un tiempo, existe una alta probabilidad de que el total de sólidos disueltos alcance un nivel crítico. Para controlar con precisión estos niveles, abra la válvula de purga de la caldera. Si el agua de alimentación contiene grandes cantidades de sólidos disueltos, la cantidad descargada permanecerá constante. Por tanto, en estos casos, la opción más recomendable es utilizar una unidad de ósmosis inversa, que permite reducir notablemente la cantidad de sales disueltas y con ello aumentar la eficiencia de la caldera, como veremos más adelante.
- 3) **Dureza total:** Corresponde al contenido de minerales de calcio y magnesio en el agua. Esto provoca la formación de incrustaciones y provoca pérdidas por intercambio de calor, un mayor consumo de energía y un sobrecalentamiento del metal en las tuberías de la caldera.
- 4) **Alcalinidad:** Es importante controlar los niveles de alcalinidad, ya que pueden causar daños por corrosión y afectar el ciclo de espesamiento al aumentar o disminuir la cantidad de purgas utilizadas en la unidad. Las calderas suelen utilizar absorbentes de oxígeno, dispersantes, antiincrustantes, protectores y neutralizadores en la línea de retorno de condensado.

La dosificación de los químicos debe realizarse en el tanque, lo que en el caso de los secuestrantes de oxígeno es más efectivo ya que permanecen más tiempo en el agua antes de llegar a la caldera y fuente de agua dispersante, agente antiincrustante y tratamiento de línea de retorno de condensado.

Basado en las recomendaciones de las normas británicas BS - 2486, ABMA (American Boiler Manufacturers Association) se han elaborado las siguientes tablas (2.4 y 2.4.1) que muestran los requisitos que debe responder el agua de alimentación de la caldera. Agua para evitar incrustaciones y corrosión en calderas de baja presión, hasta 10 bar (Behn, 2020).

Tabla 2.4 Requerimientos satisfactorios para agua de caldera y alimentación

PARÁMETRO	VALOR REQUERIDO
Dureza total	< 2 ppm
Contenido de oxígeno	< 8 ppm
Dióxido de carbono	< 25 mg/l
Contenido total de hierro	< 0.05 mg/l
Contenido total de cobre	< 0.01 mg/l

Alcalinidad total	< 25 ppm
Contenido de aceite	< 1 mg/l
pH a 25 °C	8.5-9.5
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

Tabla 2.4.1 Requerimientos satisfactorios para agua de caldera y alimentación segunda parte

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO
pH a 25°C	10.5-11.8
Alcalinidad Total CaCO_3	< 700 ppm
Alcalinidad Cáustica	> 350 ppm
Secuestrantes de Oxígeno:	
Sulfato de Sodio	30-70 ppm
Hidrazina	0.1-10 ppm
Taninos	120-180 ppm
Dietilhidroxilamina	0.1-1.0 ppm (en agua alimentación)
Fosfato Na_3PO_4	30-60 mg/l
Hierro	< 3.0 ppm
Sílice	150 ppm
Sólidos disueltos	< 3500 ppm
Sólidos en suspensión	< 200 ppm
Conductividad	< 7000 $\mu\text{S/cm}$
Condición general	Incoloro, claro y libre de agentes insolubles.

La clasificación de la dureza se basa de acuerdo con lo siguiente:

80 a 149 mgCaCO_3/L es Agua Blanda

150 a 329 mgCaCO_3/L es Agua Semi Dura

330 a 549 mgCaCO_3/L es Agua Dura

Más de 550 mgCaCO_3/L es Agua Muy Dura

Problemas causados por la contaminación del agua.

- 1) **Embancamiento:** La suciedad y la sílice, con la ayuda de determinadas sales solubles, provocan una sedimentación extremadamente rápida, es decir, se depositan en el fondo de la caldera, dificultando o impidiendo la libre circulación y el drenaje. Antes de entrar en la caldera, estos contaminantes deben eliminarse casi por completo mediante filtración.
- 2) **Incrustaciones:** Se trata de depósitos en forma de cáscaras duras de sales de calcio y magnesio que se adhieren a la superficie metálica de la caldera. Por sus propiedades aislantes, afectan la transferencia de calor al agua, reducen la capacidad de la caldera, provocan el sobrecalentamiento de las

tuberías y por tanto el riesgo de deformaciones o grietas, obstruyendo el flujo de agua (tubería de agua de la caldera). Los sedimentos también se pueden formar a partir de la deposición de sólidos suspendidos, conocidos como sedimentos adheridos.

- 3) **Corrosiones:** Es la destrucción gradual de las superficies metálicas al exponerse al agua debido a la acción del oxígeno, el dióxido de carbono y ciertas sales, como el cloruro de sodio. También pueden ser causadas por compuestos químicos resultantes de un tratamiento inadecuado del agua (agentes desincrustantes).
- 4) **Arrastre:** Esto ocurre cuando el vapor sale de la caldera transportando partículas de agua en suspensión. Los sólidos disueltos en estas partículas se depositan en las piezas y equipos a través de los cuales circula y se utiliza el vapor, causando problemas durante el funcionamiento del sistema de vapor. Este fenómeno está estrechamente relacionado con la formación de espuma en la superficie del agua. Las causas incluyen exceso de sólidos disueltos, alta alcalinidad, materiales aceitosos, materia orgánica y detergentes.
- 5) **Fragilidad caustica:** Es una grieta (pequeña grieta) en el metal de tuberías y piezas sometidas a esfuerzos mecánicos. Esto sucede cuando el agua contiene demasiado hidróxido de sodio. (Bahamondes, 2018).

2.5. Proceso de adsorción

La adsorción es un proceso fisicoquímico en el que una sustancia en fase móvil, líquida o gaseosa queda retenida en la superficie de un material sólido llamado adsorbente. Las causas de este proceso pueden ser diferentes, por ejemplo, interacciones electrostáticas, de dispersión o alifáticas o fenómenos más selectivos como el intercambio iónico u otros tipos específicos de interacciones (Mendoza, 2022).

a) ¿Cuáles son las aplicaciones de este proceso?

El proceso de adsorción tiene muchas aplicaciones, entre ellas: (Mendoza, 2022):

- 1) Limpiar la corriente de aire contaminado.
- 2) Tratar las aguas residuales contaminadas.
- 3) Purificación y deshumidificación de combustibles.
- 4) Decoloración y eliminación de olores de productos comerciales (azúcar, aceite).
- 5) Limpiar antibióticos
- 6) Etc.

b) ¿Qué sectores industriales recurren al proceso de adsorción?

Muchas industrias utilizan la adsorción en sus procesos productivos, por ejemplo:

- 1) Industria sanitaria
- 2) Industria alimentaria
- 3) Industria minera
- 4) Industria automotriz
- 5) Industria petroquímica

c) ¿Qué materiales se emplean en los procesos de adsorción?

El material más extensamente empleado en los procesos de adsorción es el 'carbón activado' debido a sus elevadas áreas superficiales específicas, química superficial y variedad de presentaciones; sin embargo, no es el único material empleado, también se utilizan ampliamente la alúmina, diversos tipos de zeolitas y arcillas y un gran número de resinas poliméricas. Ver Figura 2.4.7. En años recientes un gran número de investigaciones se han centrado en el desarrollo de materiales más eficientes, tanto en la síntesis del material como en la remoción de la sustancia de interés, sobresaliendo los Hidróxidos Dobles Laminares (HDL), los armazones organometálicos (metal organic framework, MOF) y los denominados biosorbentes, materiales de origen biológico con propiedades adsorbentes.

d) ¿Cuáles son las áreas de estudio de los procesos de adsorción?

Los campos de investigación sobre procesos de adsorción son muy diversos, creando condiciones favorables para la colaboración entre científicos y tecnólogos de muy diferentes campos en la construcción y desarrollo de este campo científico. En general, las áreas de investigación se pueden resumir de la siguiente manera:

- 1) Síntesis y caracterización de materiales.
- 2) Evaluar materiales bajo diferentes condiciones de operación.
- 3) Explicar mecanismos fisicoquímicos y mecanismos de transporte de sustancias.
- 4) Simulación y modelización matemática.
- 5) Control y elaboración de informes de procesos.

La adsorción es un proceso en el que una sustancia química (adsorbable o adsorbato), inicialmente presente en fase líquida, se concentra en el límite de fase que la separa de otra sustancia de este o superior orden (adsorbente) (Chikizurita, 2015).

Es necesario distinguir entre el proceso de adsorción y el proceso de absorción. La absorción es el proceso en el que un material (absorbente) es retenido por otro material (absorbente); Puede ser la disolución de un gas o líquido en un líquido o sólido; o retener moléculas de gas, líquido o sustancia disuelta en la superficie o masa de un sólido mediante fuerza física.

La adsorción es una operación de separación en la que ciertos componentes de la fase líquida se transfieren a la superficie de un sólido, donde están conectados por fuerzas físicas (débiles) o enlaces químicos reales (Chikizurita, 2015).

e) Adsorción Física

- 1) Fuerzas de Van der Waals
- 2) Carácter exotérmico (1 a 10 kcal/mol)
- 3) Rápida
- 4) Reversible
- 5) Formación multicapas
- 6) Ocurre en todos los sólidos y en toda su superficie
- 7) Poca selectividad
- 8) Dependencia lineal con T

Este fenómeno también se llama adsorción física, que ocurre cuando el adsorbente y la superficie adsorbente interactúan únicamente a través de fuerzas de van der Waals. Las moléculas adsorbidas están débilmente unidas a la superficie y el calor de adsorción es bajo, sólo unos pocos kJ y comparable al calor de vaporización del adsorbente. El aumento de la temperatura reduce significativamente la adsorción. Los adsorbentes como la zeolita, el gel de sílice, el carbón activado y la alúmina tienen una estructura muy porosa con una relación superficie-volumen de aproximadamente 100, por lo que pueden adsorber refrigerantes. Después de la saturación, se puede regenerar calentando para liberar la cámara. El espesor de la capa adsorbente durante la adsorción física puede variar de una molécula a muchas moléculas porque las fuerzas de van der Waals pueden propagarse de una capa molecular a otra. El proceso se interrumpe cuando el adsorbente se regenera después de la saturación. Por esta razón, un adsorbente consta de al menos 2 cámaras o lechos de adsorción, ya que esto asegura que el ciclo en las cámaras se invierta para que ocurra la adsorción, desorción y viceversa, para asegurar que el proceso de adsorción no se detenga de frío y trabaje continuamente (Chikizurita, 2015) figura 2.4.4 b).

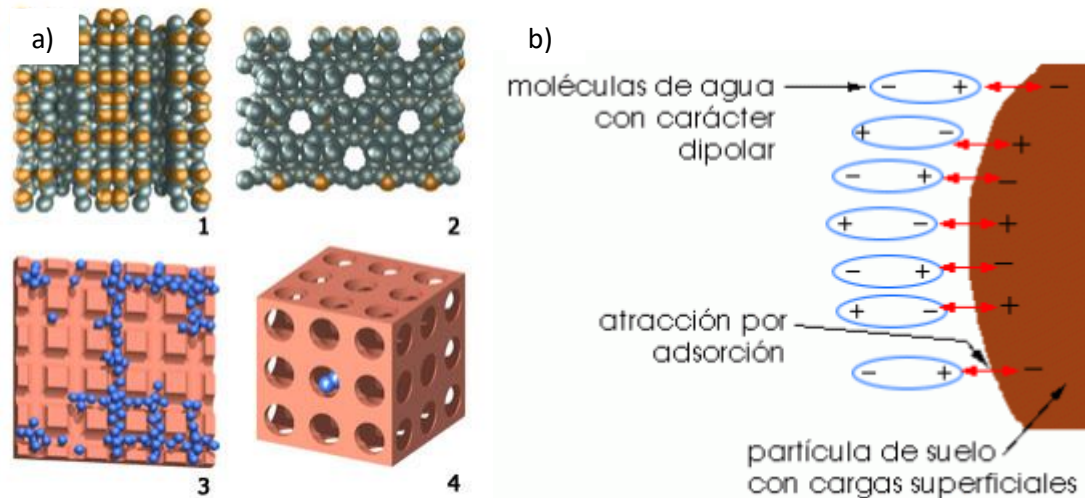


Figura 2.4.4 a) Arcillas con propiedades de adsorción de sustancias y b) Adsorción Física (Chikizurita, 2015).

f) Adsorción Química

- 1) Enlaces químicos.
- 2) Carácter exotérmico (10 a 100 kcal/mol).
- 3) Lenta.
- 4) Irreversible.
- 5) Solo monocapa adsorbida.
- 6) Ocurre en ciertos sólidos y determinados puntos.
- 7) Gran selectividad.
- 8) Dependencia exponencial en T (Arrhenius)

También conocida como quimisorción, ocurre cuando las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con una superficie, formando y rompiendo enlaces. La adsorción química no se extiende más allá de la monocapa en la superficie. Se caracteriza por un fuerte enlace químico entre el adsorbente y el adsorbente. Por lo tanto, el proceso de inversión es más difícil y requiere más energía para eliminar las moléculas adsorbidas que la adsorción física. El producto más utilizado en este tipo de adsorción es el cloruro de calcio (CaCl_2). También se utilizan silicatos. El primer material desarrollado fue un compuesto de silicato CaCl_2 y MCM-41 con un COP de 0.7, operando a una temperatura de condensación de 40°C y una temperatura de producción de 110°C . Restuccia con composición similar logró una eficiencia de 0,6 a 35°C en el condensador y 95°C durante la producción. Los enfriadores de adsorción de hidruro metálico utilizan hidrógeno como refrigerante y pueden integrarse en sistemas que utilizan este combustible. La temperatura del agua caliente en sistemas de una sola etapa comienza a partir de 80°C , dependiendo del hidruro utilizado y de la temperatura del calor residual. Resulta que el coeficiente COP es aproximadamente 0.5. Como se muestra en la figura 2.4.5.

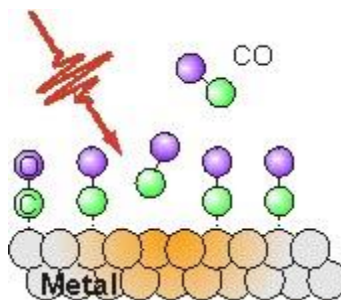


Figura 2.4.5 Adsorción química.

2.6. Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso de filtración de agua que se utiliza para eliminar iones no deseados del agua y reemplazarlos con iones beneficiosos (Sela, 2019).

El intercambio iónico se realiza mediante polímeros en forma de pequeñas esferas que son capaces de intercambiar un ion por otro en la solución que lo atraviesa. Estas perlas de gel sintético se denominan "resinas de intercambio iónico". Esta capacidad metabólica también se observa en varios sistemas naturales como el suelo y las células vivas. Las resinas sintéticas se utilizan no sólo para la filtración de agua sino también para muchos otros fines, incluida la separación de determinados elementos.

Al filtrar agua, el objetivo principal es ablandar el agua o eliminar impurezas minerales. El agua se ablanda con una resina que contiene cationes de sodio (Na) y reemplazándolos por calcio Ca_2 y magnesio Mg_2 (dureza): intercambio iónico (Gerónimo, 2022).

A medida que el agua fluye a través de la resina, la absorción de Ca_2 y Mg_2 aumenta hasta que la resina se satura, momento en el que es necesario regenerar la resina rellenándola con Na .

a) Procesos de intercambio iónico

Los procesos que utilizan el intercambio iónico se muestran a continuación:

- 1) Descalcificador de agua (elimina durezas)
- 2) Desalcalinización (eliminación de carbonato)
- 3) Esterilización (elimina todos los cationes)
- 4) Desmineralización (eliminación de todos los iones)
- 5) Capa mixta (nitrato y desmineralizado)
- 6) Eliminación de metales

Hay dos tipos de materiales de intercambio iónico:

Material de intercambio catiónico (+): reemplaza los iones cargados positivamente en el agua con otros iones cargados positivamente contenidos en la resina (Sela, 2019).

Material de intercambio aniónico (-): reemplaza los iones cargados negativamente en el agua con otros iones cargados positivamente contenidos en la resina.

Los tipos de resina suelen abreviarse de la siguiente manera (Gerónimo, 2022):

- 1) SAC: resina de intercambio catiónico de ácido fuerte
- 2) WAC: resina de intercambio catiónico de ácido débil
- 3) SBA: resina de intercambio aniónico de base fuerte
- 4) AMB: resina de intercambio de aniónico con propiedades básicas débiles

b) ¿Cómo funciona el intercambio iónico?

Durante el intercambio iónico, el agua fluye a través de una resina insoluble que puede intercambiar iones con agua (Sela, 2019).

Esta resina suele ser un polímero sintético. Consiste en una matriz polimérica reticulada que contiene grupos funcionales cargados conectados a la cadena polimérica. La resina está saturada de iones que llevan cargas opuestas a las de los grupos funcionales. Estos iones son móviles e intercambiables.

Los iones del agua se sustituyen por iones contra adsorbidos en la resina, que tienen una carga similar y, por tanto, se eliminan.

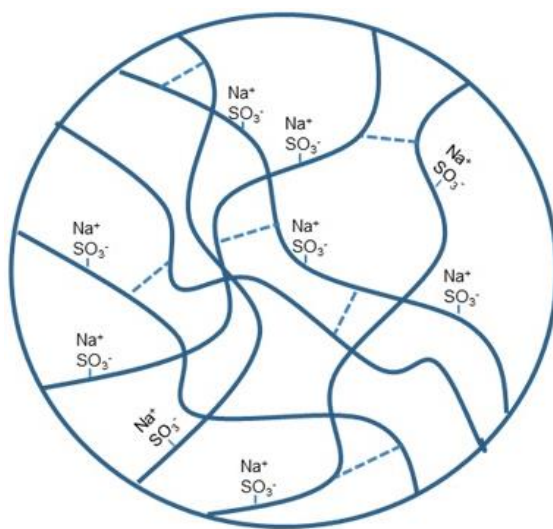


Figura 2.4.6 Función del intercambio iónico.

c) La selectividad de la resina

Cada resina tiene una afinidad ("preferencia") diferente por iones específicos.

La selectividad depende de:

Propiedades de resina: distribución del tamaño de poro, tipo de grupo funcional, etc. (Sela, 2019).

Propiedades de los iones intercambiables: valencia, radio de hidratación. Menor radio de hidratación - mayor afinidad.

Tasa de enlace.

La selectividad de las resinas comunes es la siguiente.

Intercambio catiónico:

H^+

$<Li^+ < Na^+ < NH_4^+ < K^+ < Cs^+ < Ag^+ < Mg^{2+} < Zn^{2+} < Cu^{2+} < Cd^+ < Ni^+ < Ca^+ < Sr^+ < Pb^{2+} < Ba^{2+} < Y^{3+} < La^{3+}$

Por ejemplo, el H^+ adsorbido en la resina será reemplazado por cualquier otro catión, el potasio (como ion presaturado) será reemplazado por calcio, es decir, eliminará el calcio. Sin embargo, la resina rica en potasio no elimina el sodio del agua.

Intercambio aniónico:

$OH^- \approx F^- < Cl^- < Br^- < MoO_4^{2-} < PO_4^{2-} < AsO_4^{3-} < NO_3^- < CrO_4 < SO_4^{2-}$

Por ejemplo, el OH^- adsorbido en la resina será reemplazado por cualquier otro anión.

d) Regeneración de la resina

Una de las ventajas de las resinas de intercambio iónico es que pueden restaurar la capacidad de intercambio (Sela, 2019).

La capacidad de intercambio es la cantidad máxima de iones que la resina puede intercambiar antes de necesitar regeneración. Expresado en miliequivalentes por mililitro de resina.

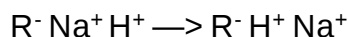
El intercambio iónico debe regenerarse una vez agotada la resina y ya no puede eliminar eficazmente los iones no deseados.

La regeneración se realiza con salmuera, normalmente en una concentración del 10%.

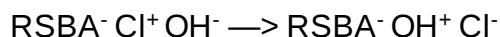
Durante la regeneración, los iones móviles se adsorben en la resina, reemplazando los iones eliminados del agua.

El tiempo necesario para la recuperación suele ser de 20 a 40 minutos.

La resina SAC se regenera con ácido fuerte (HCl o H_2SO_4). (Gerónimo, 2022)



La resina se regenera SBA con una base fuerte (NaOH o KOH).



e) Suavización de agua

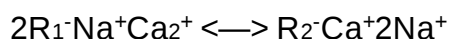
El agua natural contiene iones de calcio y magnesio, que forman sales poco solubles en presencia de alcalinidad. Estos cationes se conocen colectivamente como dureza. Cuando el agua se evapora, aunque sea un poco, estos cationes precipitan. Esto es lo que sucede cuando dejas que el agua se evapore hirviéndola en la estufa (Gerónimo, 2022).

El agua dura también forma depósitos en tuberías de agua y calderas, tanto domésticas como industriales. Puede causar turbidez en la producción de cerveza y bebidas. Las sales de calcio forman residuos en los utensilios de cocina, provocando sequedad en la piel y daños en el cabello.

Las resinas de intercambio catiónico de ácido fuerte utilizadas en forma de sodio eliminan del agua los cationes que causan la dureza y se denominan suavizantes. Después de la saturación de la dureza, se regeneran con cloruro de sodio (NaCl).

f) Reacciones

La siguiente reacción es la resina, que inicialmente aparece como sodio. La reacción con el magnesio es idéntica (Gerónimo, 2022).



La reacción anterior representa el equilibrio. Esto se puede revertir aumentando la concentración de sodio en el lado derecho. Esto se hace usando NaCl.

Algunos ejemplos de usos de suavizantes:

- 1) Tratamiento de agua de calderas
- 2) Uso para fines domésticos, plomería, cuidado del cabello y la piel.
- 3) Las cervecerías y fábricas de bebidas tratan el agua de producción de resinas aprobadas para el contacto con alimentos.

Nota. - El ablandamiento del agua no reduce la salinidad. Sólo elimina los iones que causan la dureza y los reemplaza por sodio.

CAPITULO III. ANTECEDENTES

Los problemas medioambientales han aumentado significativamente en los últimos años, siendo la contaminación del agua un motivo importante de preocupación. Muchos compuestos orgánicos se consideran contaminantes potenciales de las fuentes naturales de agua, principalmente debido a su alta toxicidad, dificultad para descomponerse naturalmente y, por lo tanto, alta persistencia. Eliminar los contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales siempre ha sido un gran desafío para el sector manufacturero, por lo que encontrar nuevos métodos que puedan usarse de manera que reduzcan el impacto de estos contaminantes se considera un gran desafío. Los métodos de purificación que se utilizan hoy en día incluyen procesos de adsorción utilizando materiales porosos, como: zeolita, arcilla y carbón activado. El carbón activado es un material que contiene carbono con una estructura porosa muy desarrollada y una superficie muy grande; su uso se debe principalmente a su alta capacidad de adsorción combinada con su bajo costo. La industria del carbón activado procesa alrededor de mil millones de dólares al año ya que este material tiene una gran importancia económica a nivel mundial en diversas industrias (Resende, 2010).

Día tras día, las masas de agua se contaminan con diversos productos químicos, principalmente del sector industrial. En este sentido, la industria textil ha hecho un aporte significativo, generando grandes cantidades de aguas residuales contaminadas con colorantes que, por su alto peso molecular, estructura compleja y especialmente alta solubilidad en agua, son muy duraderos en el medio ambiente, causa graves problemas por sus consecuencias tanto para la salud pública como para el ecosistema (Cecilia, 2017).

Los métodos más utilizados para eliminar colorantes de las aguas residuales incluyen métodos químicos, biológicos y físicos. Los métodos de tratamiento físico como la filtración por membrana, la disrupción electroquímica, la irradiación, la ozonización y la adsorción, entre otros, se utilizan ampliamente en el tratamiento de colorantes en aguas residuales. La mayoría de estos procesos son costosos y producen lodos o subproductos; Sin embargo, se sabe que la adsorción es uno de los métodos más eficaces, especialmente si el adsorbente es barato y tiene una alta capacidad de adsorción. (Cecilia, 2017).

El carbón activado, debido a su alta porosidad, es ampliamente utilizado como adsorbente en procesos de limpieza industrial y regeneración química debido a su gran superficie específica (500 a 2000 m² g⁻¹), volumen de poros grandes y presencia de grupos funcionales superficiales. especialmente grupos que contienen oxígeno (Castellar, 2013).

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son un conjunto de compuestos orgánicos tóxicos que son producidos y utilizados por los seres humanos y persisten en el medio ambiente durante períodos de tiempo muy prolongados. Su

persistencia puede deberse a su resistencia química o biológica o a que la cantidad liberada al medio ambiente excede la degradabilidad del medio natural. La mayoría de estos compuestos tienen una alta afinidad por el tejido adiposo, por lo que son susceptibles de bioacumulación y biocondensación en la cadena alimentaria. Los estudios sobre la adsorción de COP se pueden realizar en condiciones que simulen las condiciones bajo las cuales estos compuestos deben eliminarse en las plantas de tratamiento de agua, permitiendo el uso de concentraciones similares a los niveles encontrados en reservorios de agua contaminada. agua, determinar la isoterma de adsorción y utilizar matrices más complejas (Gamboa-Carballo, 2016).

Autores como (Graymore, 2001) indican que se ha detectado atrazina en concentraciones de hasta 1000 µg/L en agua cercana a áreas tratadas y hasta 80 µg/L en agua potable (ETA). Uno de los métodos más utilizados y eficaces para eliminar compuestos orgánicos del agua es la adsorción. Debido a que el costo de producción y regeneración es su límite principal, los diversos entornos adsorbentes obtenidos de materiales bajos económicamente, como neumáticos, madera, huesos, frutas y desechos de campo poco profundos, bajo contenido inorgánico y alto contenido de carbono; La efectividad del procesamiento tradicional, incluidas las explicaciones (coagulación, floculación y los sedimentos) y la filtración regular, con la segunda etapa de filtro más tarde con dos agentes de adsorción de carbón mineral activado (MAC) del carbón bitum, así como el carbón operativo ósea granular mineral. Como semillas de carbono activadas (CAV) de la piel de coco.

La ozonización combinada con la adsorción de carbono proporciona una opción atractiva para eliminar MBT. De hecho, el carbón activado tiene una gran superficie sobre la cual el ozono y el MBT pueden adsorberse y reaccionar. El ozono destruye fácilmente las moléculas de fragancia adsorbidas, ayudando a restaurar la capacidad de adsorción del carbón activado. De manera similar, los grupos superficiales activados pueden ser responsables del efecto catalítico que se produce durante la ozonización en presencia de carbón activado. Sin embargo, se ha demostrado que el ozono oxida el carbono y cambia la composición química de su superficie; Por lo tanto, es posible utilizar ozono y carbón activado simultáneamente para eliminar contaminantes del agua (H. Valdes, 2003).

Se ha demostrado que la capacidad de adsorción de ciertos contaminantes atmosféricos en medios porosos de origen natural (arcillas y zeolitas naturales y modificadas de la región de Tehuacán, Puebla, México) es real y depende de: las propiedades estructurales del material poroso propuesto. Se ha demostrado que existe una buena correlación entre las propiedades moleculares de las partículas contaminantes (diámetro cinemático, polaridad) y las propiedades texturales de los materiales propuestos para llevar a cabo los procesos de adsorción (Henández, 2003).

La adsorción se utiliza como herramienta de separación en casi todos los campos con diversos fines como secar el aire, purificar el agua, eliminar olores o separar componentes de sus mezclas, entre muchos otros fines. La adsorción es precisamente el método de tratamiento de aguas residuales industriales más beneficioso desde el punto de vista económico y ambiental porque puede contener grandes cantidades de aditivos tóxicos. Normalmente, los adsorbentes más utilizados son las arcillas, tanto naturales como modificadas por calcinación, tratamientos químicos, etc. Entre los materiales inofensivos, cabe mencionar la arcilla y los minerales arcillosos, que tienen propiedades coloidales, cambian fácilmente de estructura, tienen abundantes propiedades y son de bajo coste. haciéndolos excelentemente adecuados para la adsorción de contaminantes químicos (García, 2015).

La contaminación de aguas residuales que contienen colorantes y medicamentos es un problema muy urgente porque su presencia puede afectar los ecosistemas marinos y la salud humana. El uso de arcillas naturales es una alternativa favorable en la remediación ambiental debido a su alta capacidad de adsorción, compatibilidad ambiental y viabilidad económica. Recientemente se descubrió en nuestro país un nuevo yacimiento de arcilla de paligorskita (Pal). Con sus propiedades de adsorción únicas, puede ser un buen candidato para combinar sustancias orgánicas persistentes en aguas residuales industriales (Denis, 2021).

Las sustancias orgánicas de arcilla han recibido mucha atención debido a sus aplicaciones en la eliminación de contaminantes. Debido a las sustituciones isomorfas en las capas de aluminosilicato, los minerales arcillosos naturales a menudo tienen una carga negativa, equilibrada por cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos como Na^+ y Ca^{2+} . La intensa hidratación de estos cationes inorgánicos crea un ambiente hidrófilo en la superficie y la zona intermedia de las arcillas de esmectita naturales. La sustitución de Na^+ o Ca^{2+} por cationes de amonio cuaternario en forma de $[(\text{CH}_3)_3\text{NR}]^+$ o $[(\text{CH}_3)_2\text{NRR}']^+$ en los centros de intercambio de las arcillas naturales conduce a la formación de derivados orgánicos del aluminio con propiedades orgánicas, que pueden actuar como un contaminante absorbente. hidrocarburos. Las organoarcillas son adsorbentes eficaces para una amplia variedad de compuestos orgánicos acuosos, incluidos muchos contaminantes comunes de las aguas subterráneas (Vianna, 2004).

CAPITULO IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua potable que ingresa al Instituto Tecnológico del estado de Oaxaca mantiene una cierta turbidez debido a las propiedades que esta presenta por los diferentes tipos de contaminación de manera externa. Poniendo en riesgo la salud de los integrantes de dicha institución y sobre todo en los laboratorios al trabajar con materiales y equipos. En el área de la carrera de Ingeniería Química se trabaja con grandes cantidades de agua potable para el funcionamiento de sus equipos y así obtener respuestas, cálculos y resultados satisfactorios; que, sin embargo, la contaminación y por ende la turbidez presente en el agua son motivos para arrojar resultados no tan convenientes. Por lo tanto, el caso más preocupante, es la caldera del laboratorio de ingeniería química del Instituto, que en los últimos años se fue incrementando y mostrando un deterioro en ella y en las tuberías a causa de sarros, incrustaciones, oxidaciones, etc., desprendiéndose partes o piezas de la caldera. Observándose que no se ha llevado un tratamiento adecuado de la caldera y tampoco del agua potable ingresante en ella, ya que antes de ingresar, el agua potable debe hacerse una prueba fisicoquímica, lo que ha generado consecuencias negativas para el equipo y la salud.

Es preciso aclarar la información a este tipo de problema ya que en la actualidad no existe un proceso, o un tratamiento adecuado de manera interna en el laboratorio de Ingeniería Química del Instituto Tecnológico de Oaxaca para el agua potable que ingresa a la caldera, es por eso por lo que resulta relevante llevar a cabo esta práctica para analizar la problemática y obtener resultados que sustenten un buen tratamiento del agua potable para reducir la turbidez y demás propiedades, es decir, utilizar adsorbentes que ayuden como medio filtrante para eliminar ciertos compuestos presentes en el agua, hacer comparaciones y utilizar el más conveniente.

Con base a lo anterior nos planteamos la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál sería la solución para disminuir o controlar los problemas de contaminación del agua potable que se dirige a la caldera del Instituto Tecnológico del estado de Oaxaca?

Existen diferentes tipos de contaminación del agua, una de ellas son los compuestos orgánicos, como son hidrocarburos o fuentes biológicas de compuestos orgánicos.

El adsorbente utilizado comúnmente para remover estos compuestos es el carbón activado, el cual necesita un compuesto químico de activación para poder ser utilizado. En este trabajo se pretende reemplazar este adsorbente con arcillas para

la adsorción de compuestos que no necesitan activación, sin embargo, es económico.

La solución sería que por medio de cinéticas e isothermas de adsorción obtener resultados que comparen el carbón activado con la arcilla y justifiquen su reemplazo para poder ser utilizado como medio filtrante por su capacidad de adsorción para el proceso de limpieza del agua potable que se dirige a la caldera del laboratorio de ingeniería química del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

CAPITULO V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Obtener las cinéticas de adsorción e isothermas de sorción de arcilla obtenida en el estado de Oaxaca.

5.2. Objetivos Específicos

1. Determinar parámetros fisicoquímicos en muestras de agua de la caldera.
2. Obtener las cinéticas e isothermas de adsorción.
3. Ajustar los datos de isothermas de adsorción a un modelo matemático.
4. Comparar la capacidad adsortiva de la arcilla con otros adsorbentes.

CAPITULO VI. JUSTIFICACIÓN

Los fenómenos de adsorción son de gran importancia en el diseño de operaciones y procesos en la industria química, tanto en laboratorios como en el ámbito académico y de investigación. Muchas aplicaciones de los fenómenos de adsorción se vuelven evidentes en procesos catalíticos heterogéneos (por ejemplo, craqueo de petróleo crudo, eliminación de impurezas como en el caso de los convertidores catalíticos de automóviles, catálisis ambiental, reacciones químicas pequeñas y de campo, etc.), procesos de separación de mezclas (con muchas aplicaciones diferentes en cromatografía), tratamiento de residuos en soluciones acuosas y procesos de filtración de gases y líquidos (por ejemplo, en procesos de filtración de agua y aceite) (Jose G. Carriazo, 2010).

En muchas de estas aplicaciones, el carbón activado se utiliza como adsorbente debido a sus reconocidas propiedades, que incluyen: área superficial específica muy grande, alta microporosidad y bajo costo económico. (Paola Rodríguez, 2010).

Además, las arcillas tienen buenas propiedades de adsorción y su estructura laminar con carga negativa compensada por cationes entre capas, permite mejorar esta capacidad. El adsorbente más utilizado es la organoarcilla (Miranda, Laverde, Avella, & Ballesteros, 2015).

Los precios del carbón activado suelen oscilar entre 200 y 1,000 pesos, dependiendo del tamaño, la microporosidad y la cantidad de átomos de la superficie disponibles para la adsorción. A diferencia de la arcilla, cuyo precio oscila entre 50 y 500 pesos, según el tipo.

La industria del carbón de China produce el 48% del carbón del mundo; mientras que el nivel de consumo nacional es del 52%. En cambio, los recursos mundiales de carbón ascendieron en 2019 a 1.069 millones de toneladas y están muy concentrados en unos pocos países: Estados Unidos (23%), Rusia (15%), Australia (14%) y China (13%). Por otro lado, la arcilla, dependiendo del tamaño de partícula y homogeneidad del material, evitará un alto consumo energético.

La producción nacional de carbón en 2019 fue de 6.1 millones de toneladas, casi un 9% menos que los 6.7 millones de toneladas producidas en 2018. Coahuila es el principal productor de carbón de México.

En México el 80% del carbón activado que se utiliza en la industria es importado. La minería con palangre implica la extracción completa de carbón de una sección o superficie mediante cortadores mecánicos.

Uno de los modelos más sencillos para estudiar la adsorción de moléculas sobre sólidos microporosos es el modelo de Langmuir. Langmuir desarrolló un modelo simple para predecir la cantidad de gas adsorbido en una superficie en función de la presión del líquido, asumiendo que: el adsorbato forma una monocapa en la superficie (una molécula es adsorbida en cada sitio de adsorción), todos los sitios

de adsorción en la superficie suelen ser energéticamente equivalentes, las moléculas adsorbidas no se mueven en la superficie y no hay interacción entre las moléculas que se adsorben en regiones vecinas. vecinos.

Es posible que la cantidad de adsorción (θ) de un gas, líquido o molécula en solución sobre un sólido a temperatura constante sea función de la presión o concentración y del número de sitios disponibles en la superficie, y por tanto la que establece la expresión de isoterma (Jose G. Carriazo, 2010).

Las prácticas de laboratorio desarrolladas en este tema tienen como objetivo ilustrar o aplicar diversos modelos, típicamente determinando el área superficial de sólidos mediante adsorción de gases o solutos en solución de agua (determinar isothermas específicas del sistema ajustando o ampliando la relación variable general), realizando una vista como herramienta de modelos de adsorción.

CAPITULO VII. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua potable y de la caldera

7.1.1. Dureza

Como reactivos se utilizaron: Cloruro de amonio, Amoniaco concentrado, Sal de magnesio EDTA, Negro de eriocromo T, Murexida, Cloruro de sodio, Sal de sodio del rojo de metilo, Sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético dehidratada, Carbonato de calcio anhidro, Hidróxido de sodio y Ácido clorhídrico concentrado.

Una vez adquirido lo anterior, se continuó con la preparación de la solución amortiguadora en donde se pesó aproximadamente 16.9 g de cloruro de amonio y se disolvió en 143 ml de amoniaco concentrado. Se añadió aproximadamente 1.25 g de sal de magnesio de EDTA y se diluyó hasta 250 ml con agua. Continuando con la Preparación del indicador negro de eriocromo T, donde se pesó aproximadamente 0.5 g de indicador negro de eriocromo T y se agregó 100 g de Cloruro de sodio, se trituro en el mortero hasta formar una mezcla homogénea. Finalmente se guardó en un frasco color ámbar. Esta mezcla se conserva en buenas condiciones para su uso durante un año.

Posteriormente se realizó la preparación del rojo de metilo; se pesó aproximadamente 0.1 g de la sal de sodio del rojo de metilo y se aforó a 100 ml con agua. Luego se llevó a cabo la preparación de disolución de EDTA a 0.01 M pesando aproximadamente 3.723 g de sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético dihidratada; se disolvió en agua y diluyó a 1L. Figura 7.1 a).

Finalmente se preparó el carbonato de calcio (1mg/ml) donde se pesó 'aproximadamente 1.0 g de carbonato de calcio anhidro (patrón primario o reactivo especial bajo en metales pesados, álcalis y magnesio) en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Se colocó un embudo en el cuello del matraz y añadió poco a poco el ácido clorhídrico (4 ml) (1:1) hasta la disolución total del carbonato de calcio. Se añadió 200 ml de agua y llevó a ebullición durante unos minutos para eliminar el CO₂. Una vez que se enfrió, se añadió unas gotas de indicador rojo de metilo y ajustó al color naranja intermedio por adición de amoniaco 3N. Se transfirió a un matraz y aforó a 1L con agua (1 ml = 1.0 mg de CaCO₃). Figura 7.1 b).

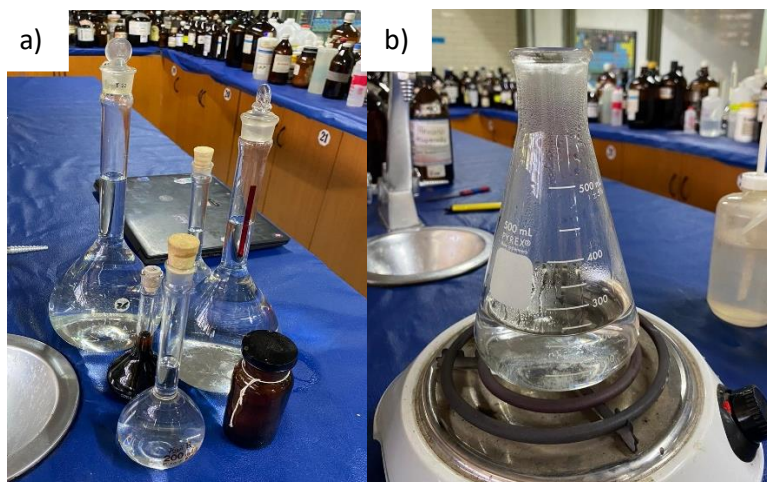


Figura 7.1 a) Preparación de soluciones b) Preparación de CaCO_3 .

Cálculo de la cantidad que se utilizó de Amoníaco 3N:

Para hallar el volumen que se utilizó de amoníaco se recurrió a la fórmula de la normalidad (véase anexo A1), teniendo como valor 3N y despejando de la fórmula la masa, para posteriormente sustituirla en la fórmula de la densidad y despejando el volumen que es lo que se necesitó saber. (el resto de los datos es obtenido del envasado del reactivo).

Para la preparación de hidróxido de sodio (NaOH) a 0.1 N, se pesó aproximadamente 4 g de hidróxido de sodio y diluyó a 1L. Para la del ácido clorhídrico 1:1, se tomó 100 ml de ácido clorhídrico y diluyó en 100 ml de agua; y finalmente para realizar la preparación de hidróxido de sodio (NaOH) a 1 N, se pesó aproximadamente 8 g de hidróxido de sodio y diluyó a 200 ml.

Cálculo para obtener los gramos de NaOH 1 N:

Considerando que el hidróxido de sodio es un reactivo sólido y tiene una concentración de 1 N, únicamente utilizamos la ecuación (2). Tomando como datos el volumen, peso molecular y equivalentes (véase anexo A2).

Titulación de las muestras para la dureza total

Se colocó 50 ml de muestra (agua potable) en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, luego 1 ml de disolución amortiguadora. Generalmente es suficiente para alcanzar un pH de 10.0 a 10.1. En seguida se añadió una cantidad adecuada del indicador eriocromo negro T, aproximadamente 0.2 g. La muestra tomó un color vino rojizo.

Posteriormente, se tituló con la disolución de EDTA 0.01 M agitando continuamente hasta que desaparecieron los últimos matices rojizos. Por último, se agregó las últimas gotas con intervalos de 3 s a 5 s. En el punto final la muestra cambió de color rojizo a azul. Ver Figura 7.1.1.



Figura 7.1.1 Titulación de dureza total.

Titulación de la dureza cálcica

Se colocó 50 ml de muestra (agua potable) en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, luego 1 ml de hidróxido de sodio 1 N. Generalmente es suficiente para alcanzar un pH de 10.0 a 10.1. (el cual bloquea los iones de calcio presentes en la muestra). En seguida, se añadió una cantidad adecuada del indicador murexida, aproximadamente 0.2 g. La muestra tomó un color rosa tenue.

Posteriormente se tituló con la disolución de EDTA 0.01 M agitando continuamente hasta que desaparecieron los últimos matices rosas. Por último, se agregó las últimas gotas con intervalos de 3 s a 5 s. En el punto final la muestra cambió de color rosa tenue a morada. Ver Figura 7.1.2.



Figura 7.1.2 Titulación de dureza cálcica.

Todo lo anterior lo encontramos en la NMX-AA-072-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA.

Cálculos

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

Dureza total

Para llevar a cabo los cálculos de la dureza total se sustituyen en la siguiente fórmula (véase anexo A3) los valores totales en ml obtenidos de las muestras después de realizar la titulación con EDTA. Ya que cada muestra se realizó por

triplicado para mayor exactitud, los ml utilizados en cada muestra que fueron de 50 ml y la Molaridad 0.01. Considerando las respectivas conversiones.

Tabla 7.1 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza total del agua potable de la llave

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	7.5
2	9
3	8
TOTAL	8.2

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

(Véase anexo A4)

Dureza Total

Tabla 7.1.1 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza total del agua potable que va a la caldera

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	16
2	18
3	14
TOTAL	16

Dureza Cálcica

Para la dureza cálcica se realizaron los cálculos igual a la dureza total, a diferencia que en este caso se utilizó la murexida para el vire durante la titulación el cual interviene en el tiempo y ml gastados en el vire.

Tabla 7.1.2 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza cálcica del agua potable que va a la caldera

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	1
2	0.5
3	0.5
TOTAL	0.66

Dureza magnésica

Para el cálculo de la dureza magnésica se realiza una resta entre la dureza total y la dureza cálcica, para obtener la diferencia entre ellas.

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

(Véase anexo A5)

Dureza Total

Tabla 7.1.3 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza total del agua del filtro de arena

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	12
2	11
3	14.5
TOTAL	12.5

Dureza Cálcica

Tabla 7.1.4 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza cálcica del agua del filtro de arena

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	2
2	1
3	5
TOTAL	2.66

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

(Véase anexo A6)

Dureza Total

Tabla 7.1.5 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza total del agua del filtro de zeolitas

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	7.5
2	5.2
3	8
TOTAL	6.9

Dureza Cálcica

Tabla 7.1.6 Volúmenes de EDTA gastados en la dureza cálcica del agua del filtro de zeolitas

MUESTRA	ml DE EDTA GASTADOS
1	1.2
2	1.6
3	2
TOTAL	1.6

7.1.2. Sólidos sedimentables

Para este método se necesitó un frasco de polietileno con una capacidad mínima de 1 L, con tapa de boca ancha, un cono de sedimentación tipo Imhoff de vidrio, bases para conos Imhoff, agitador largo y reloj o cronómetro.

Procedimiento

Se mezcló la muestra a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento de su medición.

Se colocó la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Se dejó sedimentar 45 min y tomó lectura, una vez transcurrido este tiempo se desprendió suavemente los sólidos adheridos a las paredes del cono con un agitador; manteniendo en reposo 15 min más y registrando el volumen de sólidos sedimentables en ml/L. Posteriormente se dejó sedimentar durante 24 h y se tomó de igual manera la lectura. Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, estimar aproximadamente el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados.

En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable.

Lo anterior se puede requerir en la NMX-AA-004-SCFI-2013 ANÁLISIS DE AGUA.

Cálculos

Se tomó directamente la lectura de sólidos sedimentables del cono Imhoff cada tiempo determinado según marca el procedimiento.

Se reportó la lectura obtenida en ml/L (Véase anexo A7).

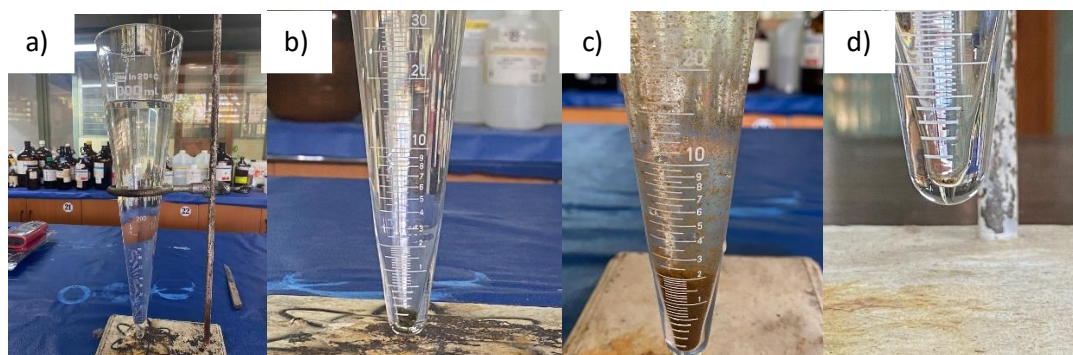


Figura 7.1.3 a) Sólidos del agua potable de la llave, b) Sólidos del agua potable que va a la caldera, c) Sólidos del agua del filtro de arena, d) Sólidos del agua del filtro de zeolitas.

7.1.3. Acidez y alcalinidad

Lo utilizado para este método fue una balanza analítica con precisión de 0.1 mg, estufa eléctrica, parilla de baño maría eléctrica, entre los materiales están; la pipeta volumétrica, vaso de precipitado de 250 ml, matraz aforado de 1L, goteros, vidrio de reloj y espátula. En reactivos necesitamos: agua libre de CO₂, biftalato de potasio (KHC₈H₄O₄), carbonato de sodio anhidro (Na₂CO₃) patrón primario, ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), o ácido clorhídrico concentrado (HCl), naranja de metilo, fenolftaleína, hidróxido de sodio (NaOH), peróxido de hidrógeno al 30 % v/v (H₂O₂), tiosulfato de sodio pentahidratado (Na₂S₂O₃•5H₂O), etanol y cloroformo.

Para la preparación de ácido clorhídrico a 0.1 N se diluyó 8.3 ml de ácido clorhídrico concentrado en 1L con agua libre de CO₂. Para la del ácido clorhídrico a 0.02 N se diluyó 200 ml de ácido clorhídrico 0.1 N a 1 L de agua. En la preparación de hidróxido de sodio a 0.1 N se pesó aproximadamente 4.0 g de hidróxido de sodio, se disolvió y diluyó a 1 L con agua. En la de hidróxido de sodio a 0.02 N se transfirió 200 ml de la solución de NaOH 0.1 N a un matraz volumétrico de 1L. Después se diluyó a 1L con agua.

Continuando con la preparación de tiosulfato de sodio pentahidratado a 0.1 M, se pesó aproximadamente 25.0 g de tiosulfato de sodio y diluyó a 1 L con agua (se agregó 5 ml de cloroformo como preservador). En la preparación de los indicadores, en el indicador de naranja de metilo se pesó aproximadamente 0.2 g del colorante naranja de metilo y 6.39 g de hidróxido de Sodio (NaOH); se diluyeron a 200 ml de agua. Después se puso a calentar a baño maría durante 30 minutos. Se filtró la disolución fría para remover cualquier precipitado que se pudiese formar y guardó en un frasco ámbar. Mientras que en el indicador de fenolftaleína se pesó aproximadamente y con precisión 1 g de fenolftaleína y se disolvió en 100 ml de etanol, después se añadió 100 ml de agua con agitación constante. Se calentó a baño maría durante 30 minutos. Se filtró para eliminar la formación de precipitado cuanto se enfrió y guardó en un frasco ámbar.

Procedimiento

Valoración de las disoluciones

Valoración del ácido clorhídrico a 0.02 N

Se pesó aproximadamente 0.0265 g del patrón primario de carbonato de sodio, secado 105°C, se añadió unos 25 ml de agua y unas gotas de la disolución de naranja de metilo, se valoró con el ácido hasta el vire del indicador (de canela/rojizo a amarillo). Se calculó la normalidad del ácido con la siguiente fórmula (Véase anexo A8).

Valoración del hidróxido de sodio a 0.02 N

Se pesó aproximadamente 0.102 g de biftalato de potasio secado a 105°C, se añadió unos 25 ml de agua y unas gotas de la disolución de fenolftaleína, se tituló con la disolución de hidróxido de sodio hasta el vire del indicador (de incoloro a rosa). Se calculó la normalidad del hidróxido con la siguiente fórmula (Véase anexo A9).

Se tomaron muestras para agua destilada, agua de garrafón y agua de potable para observar la diferencia en resultados. Los pH obtenidos con el potenciómetro para cada uno fueron los siguientes:

Agua Destilada: pH 5

Agua de garrafón: pH 6.74

Agua potable de la llave: pH 8

Las 3 muestras fueron ajustadas a pH 7 con ayuda del potenciómetro y el ácido clorhídrico 0.1 N para acidificar e hidróxido de sodio 0.1 N como base.

Posteriormente se trabajó con agua potable de la llave con pH 8.

➤ ACIDÉZ

Se transfirió 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se adicionó 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína e introdujo la barra magnética. Se tituló con disolución de hidróxido de sodio valorada hasta el vire del indicador (de incoloro a rosa), se registró el volumen empleado en la titulación (acidez total). Ver figura 7.1.4.



Figura 7.1.4 Determinación de acidez total con fenolftaleína.

Se transfirió 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se adicionó 2 gotas de disolución indicadora de naranja de metilo e introdujo la barra magnética. Se inició la agitación y tituló con disolución de hidróxido de sodio valorada hasta el vire del indicador, se registró el volumen empleado en la titulación. Se calculó la

acidez, tomando en cuenta el vire del indicador (Véase anexo A10) (de amarillo a canela) (acidez al anaranjado de metilo). Ver figura 7.1.5.



Figura 7.1.5 Determinación de acidez total con naranja de metilo.

MUESTRA CON AGUA DESTILADA A pH 7

Tabla 7.2.3 Volúmenes gastados para determinar la acidez en agua destilada pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	0.3	0.6
2	0.3	0.4
3	0.3	0.3
PROMEDIO ml gastados	0.3	0.43

MUESTRA CON AGUA DE GARRAFÓN A PH 7

Tabla 7.2.4 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua de garrafón pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	0.3	0.8
2	0.3	0.7
3	0.3	0.7
PROMEDIO ml gastados	0.3	0.73

MUESTRA DE AGUA POTABLE A PH 7

Tabla 7.2.5 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
----------	------------------------------	----------------------------------

1	0.6	1.5
2	0.6	2
3	0.5	1.5
PROMEDIO ml gastados	0.56	1.66

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

Tabla 7.2.6 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable de la llave

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	3	5.5
2	3	4.5
3	2.5	3
PROMEDIO ml gastados	2.83	4.33

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

Tabla 7.2.7 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua potable que va a la caldera

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	0.5	2.5
2	0.5	2.5
3	0.5	2.5
PROMEDIO ml gastados	0.5	2.5

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

Tabla 7.2.8 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua del filtro de arena

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	1.6	3
2	1.3	5
3	1.3	3
PROMEDIO ml gastados	1.4	3.66

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

Tabla 7.2.9 Volúmenes gastados para determinar acidez en agua del filtro de zeolitas

MUESTRAS	Fenolftaleína (NaOH) [ml]	Naranja de metilo (NaOH) [ml]
1	0.5	1.2
2	0.3	1.4

3	0.4	1.0
PROMEDIO ml gastados	0.4	1.2

➤ ALCALINIDAD

Se transfirió 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se adicionó 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína. Se tituló con la disolución valorada de ácido a 0.02 N hasta el vire de la fenolftaleína (de rosa a incoloro) se registró los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína). Ver Figura 7.1.6



Figura 7.1.6 Determinación de alcalinidad total con fenolftaleína.

Se adicionó 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo y continuó con la titulación hasta alcanzar el vire del naranja de metilo (de canela a amarillo), alcalinidad total. Se registró los volúmenes para ambos puntos finales (ver Figura 7.1.7).



Figura 7.1.7 Determinación de alcalinidad total con naranja de metilo.

Se calculó la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores por cada muestra (Véase anexo A11).

MUESTRA CON AGUA DESTILADA A pH 7

Tabla 7.3 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua destilada pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	0.5	6.2
2	0.5	6.6
3	0.5	8.4
PROMEDIO ml gastados	0.5	7.06

MUESTRA CON AGUA DE GARRAFÓN A pH 7

Tabla 7.3.1 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua de garrafón pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	0.6	7.2
2	0.7	14.9
3	0.6	14.3
PROMEDIO ml gastados	0.63	12.33

MUESTRA DE AGUA POTABLE A pH 7

Tabla 7.3.2 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable pH7

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	2.5	9.5
2	2	13.5
3	2	9.4
PROMEDIO ml gastados	2.16	10.8

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

Tabla 7.3.3 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable de la llave

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	2.6	28
2	2.2	30
3	2.2	28.5
PROMEDIO ml gastados	2.33	28.83

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

Tabla 7.3.4 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad en agua potable que va a la caldera

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	1.8	28
2	1.5	22
3	1.8	19
PROMEDIO ml gastados	1.7	23

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

Tabla 7.3.5 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad de agua del filtro de arena

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	2.6	19
2	2.2	15
3	2.4	17
PROMEDIO ml gastados	2.4	17

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

Tabla 7.3.6 Volúmenes gastados para determinar alcalinidad de agua del filtro de zeolitas

MUESTRAS	Fenolftaleína (HCl) [ml]	Naranja de metilo (HCl) [ml]
1	2.5	16
2	1.6	14
3	1.9	15
PROMEDIO ml gastados	2	15

Todo procedimiento de alcalinidad y acidez se encuentra en la NMX-AA-036-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA.

7.1.4. pH

Se tomó el pH de la muestra de agua potable con el potenciómetro. De manera que se encendió el equipo, se calibro con los buffers de pH 4 y pH 7 enjuagando y secando el electrodo respectivamente antes de introducirlo en cada buffer.

Una vez calibrado el equipo; se lavó el electrodo de la misma manera con agua destilada y secó para enseguida introducir el electrodo en la muestra de agua

potable. Arrojando de esta manera un PH de 8; se lavó y seco el electrodo para apagar el potenciómetro (Véase anexo A12).

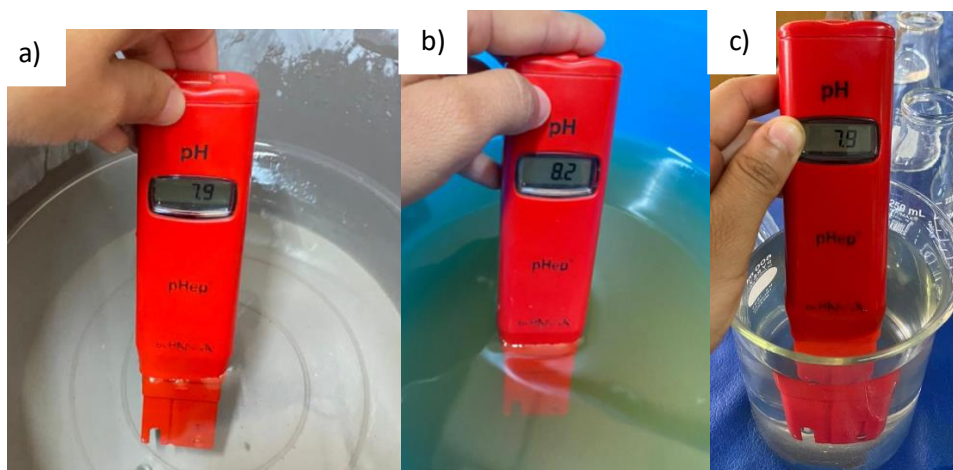


Figura 7.1.8 a) pH agua potable que va a la caldera, b) pH agua del filtro de arena, c) pH agua del filtro de zeolitas.

Toda información sobre el pH se encuentra disponible en la NMX-AA-008-SCFI-2016-NORMA MEXICANA

7.1.5. Conductividad

Para obtener la conductividad del agua, se utilizó conductímetro. De acuerdo con el manual del conductímetro una vez obtenidos los datos al medir la conductividad, se recurre a dicho manual especificado en él como tabla 2 para observar en que rango se encuentra el valor de conductividad de la solución y por consiguiente su resistencia. Ver tabla 7.3.7

Tabla 7.3.7 Especificación del manual de conductividad

No.	Cond de solución $\mu\text{S/cm}$	Resistencia correspondiente Ω	Electrodo a emparejar	Constante	Conductividad real de la solución medida
1	0-0.2	∞ -5000000	Electrodo de aleación de Titanio	0.01	Dígito mostrado x 0.01
2	0-2	∞ -500000		0.01	Dígito mostrado x 0.01
3	0-20	∞ -50000		0.01	Dígito mostrado x 0.01
4	0-200	∞ -5000		0.01	Dígito mostrado x 0.01

5	0-20	∞ -50000	DJS-1C Electrodo brillante	1	Dígito mostrado x 1
6	0-200	∞ -5000		1	Dígito mostrado x 1
7	0-2000	∞ -500	DJS-1C Electrodo negro de platino	1	Dígito mostrado x 1
8	0-10,000	∞ -100		1	Dígito mostrado x 1
9	0-200	∞ -5000	DJS-10C Electrodo negro de platino	10	Dígito mostrado x 10
10	0-2,000	∞ -500		10	Dígito mostrado x 10
11	0-20,000	∞ -50		10	Dígito mostrado x 10
12	0-100,000	∞ -10		10	Dígito mostrado x 10

Trabajando a una $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=1.0$ digitados en el monitor; además de limpiar con agua destilada y secar cada que se hacía el cambio del electrodo, los datos de conductividad de las muestras fueron las siguientes:

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

Tabla 7.3.8 Valores de conductividad de agua potable de la llave

Celda DJS-10C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 98.2 $\mu\text{S/cm}$				
No	Cond de solución $\mu\text{S/cm}$	Resistencia correspondiente Ω	Constante	Conductividad real de la solución medida
9	0-200	∞ -5000	10	982 $\mu\text{S/cm}$
Celda DJS-1C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 837 $\mu\text{S/cm}$				
7	0-2000	∞ -500	1	837 $\mu\text{S/cm}$
Celda DJS-1C Electrodo brillante				
Valor de conductividad obtenida: 4.20 $\mu\text{S/cm}$				
5	0-20	∞ -50000	1	4.20 $\mu\text{S/cm}$
Electrodo de aleación de Titanio				

Valor de conductividad obtenida: 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
2	0-2	∞ -500000	0.01	0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

Tabla 7.3.9 Valores de conductividad de agua potable que va a la caldera

Celda DJS-10C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 94.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
No	Cond de solución $\mu\text{S}/\text{cm}$	Resistencia correspondiente Ω	Constante	Conductividad real de la solución medida
9	0-200	∞ -5000	10	948 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 835 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
7	0-2000	∞ -500	1	835 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo brillante				
Valor de conductividad obtenida: 4.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
5	0-20	∞ -50000	1	4.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Electrodo de aleación de Titanio				
Valor de conductividad obtenida: 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
2	0-2	∞ -500000	0.01	0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

Tabla 7.4 Valores de conductividad de agua del filtro de arena

Celda DJS-10C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 96.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
No	Cond de solución $\mu\text{S}/\text{cm}$	Resistencia correspondiente Ω	Constante	Conductividad real de la solución medida
9	0-200	∞ -5000	10	962 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
7	0-2000	∞ -500	1	84 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo brillante				
Valor de conductividad obtenida: 4.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$				
5	0-20	∞ -50000	1	4.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Electrodo de aleación de Titanio				
Valor de conductividad obtenida: 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$				
2	0-2	∞ -500000	0.01	0.01 $\mu\text{s}/\text{cm}$

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

Tabla 7.4.1 Valores de conductividad de agua del filtro de zeolitas

Celda DJS-10C				
Valor de conductividad obtenida: 41.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$				
No	Cond de solución $\mu\text{s}/\text{cm}$	Resistencia correspondiente Ω	Constante	Conductividad real de la solución medida
9	0-200	∞ -5000	10	411 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo negro de platino				
Valor de conductividad obtenida: 36.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$				
7	0-2000	∞ -500	1	36.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Celda DJS-1C Electrodo brillante				
Valor de conductividad obtenida: 2.86 $\mu\text{s}/\text{cm}$				
5	0-20	∞ -50000	1	2.86 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Electrodo de aleación de Titanio				
Valor de conductividad obtenida: 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$				
2	0-2	∞ -500000	0.01	0.01 $\mu\text{s}/\text{cm}$

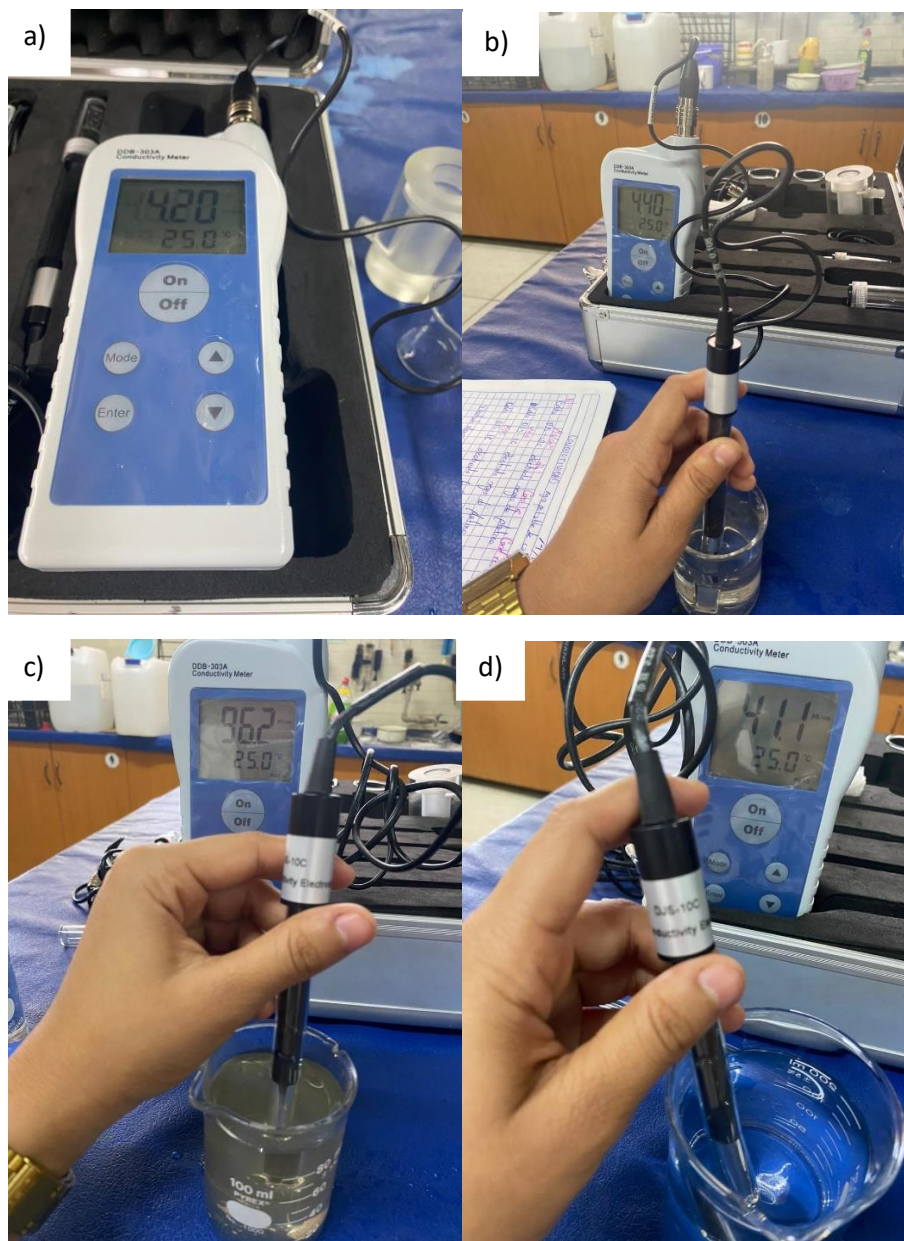


Figura 7.1.9 a) toma de conductividad del agua de la llave, b) toma de conductividad del agua que va a la caldera, c) toma de conductividad del agua filtro de arena, d) toma de conductividad del agua filtro de zeolita.

Para más información recurrir a la NMX-AA-093-SCFI-2000 ANALISIS DE AGUA.

7.1.6. Turbidez

Para este método se utilizó un espectrofotómetro, con el que se utilizó la longitud de onda del agua potable que es de 600-700 nm.

Para mejores resultados se tomó de la mínima a la máxima longitud de onda del espectrofotómetro, que es de 350 nm a 950 nm, con intervalos de 50 nm.

Datos del blanco

Agua destilada

Transmitancia: 100

Absorbancia: 0

Datos obtenidos de las muestras

Tabla 7.4.2 Datos de las muestras para determinación de turbidez

L.0 (nm)	Agua potable de la llave	Agua potable que va a la caldera	Agua del filtro de arena	Agua del filtro de zeolita
350	0.012	0.033	0.127	0.010
400	0.009	0.037	0.115	0.010
450	0.002	0.026	0.105	0.004
500	0.007	0.027	0.089	0.008
550	0.004	0.024	0.082	0.005
600	0.002	0.021	0.100	0.005
650	-0.003	-0.001	0.072	0
700	0	0.002	0.062	0.006
750	-0.002	0.006	0.052	0.004
800	0.003	0.009	0.058	0.006
850	0.002	0.011	0.057	0.008
900	-0.002	0.007	0.051	0.003
950	0.001	0.003	0.045	-0.001

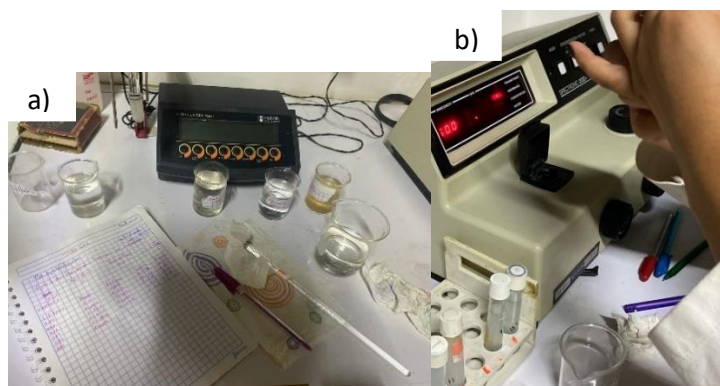


Figura 7.2 a) Preparación de muestras para turbidez b) Utilización de espectrofotómetro.

Para el método con el Turbidímetro analizar la NMX-AA-038-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA.

7.2. Tamizado de la arcilla

Para definir el tipo de arcilla a utilizar, caracterizarla, saber la distribución de tamaño de partícula e identificar aproximadamente la cantidad o porcentaje que pasa por los tamices se realizó lo siguiente:

Se pesó en total 100 g de arcilla que se hicieron pasar por tamices de diferentes tamaños durante 5 minutos y posteriormente se pesaron los gramos de arcilla que quedaron retenidos en cada tamiz, para así calcular el porcentaje obtenidos en cada uno de ellos como se muestra a continuación.

El porcentaje se calculó con la siguiente formula:

$$\% = \frac{Cantidad}{Total} \times 100\% \dots \textbf{Ecuación (12)}$$

Los resultados se encuentran en resultados y discusiones, tabla 8.1.5.



Figura 7.2.1 a) tamices de 40,50,50,80, b) tamices de 100,200,300.



Figura 7.2.2 Porciones del tamizado.

7.3. Obtención de las cinéticas e isotermas de adsorción

Para este caso se trabajó con uno de los adsorbentes más comunes como es el carbón activado, siendo su marca “Alyt Reactivos Analíticos” con 500 gr de contenido, lote: #020604 y posteriormente con la arcilla obtenido del municipio de Atzompa, para así; finalmente hacer una comparación de su capacidad de adsorción.

Cantidad que se necesitó para preparar Ácido acético (CH_3COOH) 0.25 N y 0.5N

En esta ocasión para llegar a obtener la cantidad deseada, tomamos en cuenta que el ácido acético es un líquido por lo que obtuvimos volumen, se sustituyó en las ecuaciones (2) masa y (4) volumen (Véase anexo B1). Del bote que contiene el ácido, proporcionamos el resto de los valores presentes a continuación.

➤ CARBÓN ACTIVADO

Velocidad de adsorción

1. En una serie de 7 matraces se agregó 20 ml de ácido acético 0.25 N en cada uno y se taparon bien con ayuda de corchos.
2. Se pesó 1 g de carbón activado por cada uno de los 7 matraces. Ver Figura 7.2.3.
3. Se vertió con ayuda de un embudo pequeño 1g de carbón activado en el primer matraz, se selló bien y agitó continuamente durante 2 min.
4. Una vez transcurrido los 2 min, se filtró el contenido del primer matraz con papel filtro, eliminando los primeros 5ml de filtrado.
5. Se tomó una alícuota de 1ml de filtrado y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador. Se repitió la titulación del filtrado para mejores resultados.
6. Se repitió los puntos 4 y 5 con los demás matraces filtrando una vez transcurrido los tiempos indicados en la tabla de resultados.



Figura 7.2.3 Serie de matraces para el cálculo de velocidad de adsorción de carbón activado.

Datos obtenidos de la titulación

Tabla 7.4.3 Volúmenes obtenidos en la titulación de velocidad de adsorción para carbón activado

No. Matraz	NaOH (ml)		Tiempo (min)
1	2	2	2
2	1.9	1.9	4
3	1.8	1.8	6
4	1.7	1.7	8
5	1.7	1.7	10
6	1.6	1.6	12
7	1.6	1.6	14

Isoterma de adsorción

1. Se preparó la serie de matraces con las siguientes cantidades:

Tabla 7.4.4 Preparación de matraces para isoterma de adsorción de carbón activado

No. De matraz	1	2	3	4	5	6	7
Ac.Ac. 0.5 N (ml)	25	20	15	10	7	3	0
Agua (ml)	0	5	10	15	18	22	25

NOTA: El procedimiento se hizo uno por uno (individualmente).

2. Se pesó y agregó 1 gr de carbón activado a cada matraz.

3. Se agitó el matraz durante 10 min. Ver figura 7.2.4.

4. Una vez que transcurrió el tiempo, se filtró el contenido del matraz eliminando los primeros 5 ml del filtrado.

5. Se tomó alícuotas de los filtrados y se tituló con NaOH 0.1 N (se realizó por duplicado). Las alícuotas fueron las siguientes: 1 ml del primer matraz, 2 ml del segundo y 5 ml de cada uno de los demás.



Figura 7.2.4 Proceso para el cálculo de isoterma de adsorción de carbón activado.

Datos obtenidos de la titulación

Tabla 7.4.5 Volúmenes obtenidos en la titulación de isoterma de adsorción de carbón activado

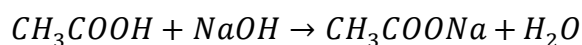
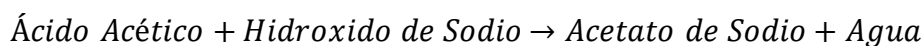
No. Matraz	Carbón	Ácido Acético	Agua	NaOH		T	Alícuotas
	[g]	[ml]	[ml]	[ml]		[min]	[ml]
1	1	25	0	3.7	3.8	10	1
2	1	20	5	6.8	6.7	10	2
3	1	15	10	12.5	12.5	10	5
4	1	10	15	8.2	8	10	5
5	1	7	18	5.8	5.8	10	5
6	1	3	22	2.5	2.5	10	5
7	1	0	25	0.5	0.5	10	5

Cálculos

Velocidad de adsorción

Se necesitó saber la relación del Ácido acético con el Hidróxido de Sodio para calcular los gramos de Ácido acético iniciales, después del filtrado y finales.

La ecuación balanceada del ácido e hidróxido es:



Esta ecuación dice que la relación molar de ácido acético con hidróxido de sodio es 1:1 lo que significa que requiere la misma cantidad de ácido acético para la titulación con hidróxido de sodio para obtener acetato de sodio y agua.

Ácido Acético

Tomando en cuenta que el volumen de ácido acético en todos los matraces fue de 20 ml; para obtener los gramos iniciales se realizó lo siguiente:

Multiplicamos volumen en litros por concentración del ácido acético para obtener los moles existentes en esa muestra, la cantidad de moles obtenidos se multiplica por el peso molecular para obtener los gramos iniciales del ácido (Véase anexo B2).

Hidróxido de Sodio

Teniendo en cuenta que el volumen utilizado son los mililitros gastados en la titulación.

Obtenemos los gramos iniciales de Hidróxido de Sodio, aplicando ecuación (13). Considerando que el hidróxido de sodio fue incluido después del filtrado.

Para los gramos de ácido acético después del filtrado se recurre a una regla de 3.

Para los gramos finales del ácido acético, se restó los gramos iniciales menos los obtenidos después del filtrado y la diferencia es el resultado.

Se sustituyó el resto de los valores en las ecuaciones (13) y (14) (Véase anexo B3).

Isoterma de adsorción

Ácido Acético

Tomando en cuenta que el volumen de ácido acético en todos los matraces fueron distintos por el motivo de que hubo volumen de agua a partir del segundo matraz y se tenía una concentración inicial, se realizó el cálculo de la concentración final.

Realizamos el procedimiento para obtener los gramos iniciales del ácido acético, ecuación (13) (Véase anexo B4).

Hidróxido de Sodio

Considerando que el volumen utilizado son los mililitros gastados en la titulación.

Se realiza cálculo para obtener los gramos iniciales del Hidróxido de Sodio después del filtrado ya que fue agregado durante la titulación de la muestra.

Para los gramos de ácido acético después del filtrado se recurre a una regla de 3.

Para los gramos finales del ácido acético, se utilizó la ecuación (14).

Para obtener la concentración final del ácido acético, se recurrió a la fórmula de las concentraciones.

Entonces la concentración inicial son los 0.5 M que se utilizó en el proceso de la muestra, el volumen inicial son los 25ml en mtrz 1, 20ml en mtrz 2, 15ml en mtrz 3, 10ml en mtrz 4, 7ml en mtrz 5 y 3 ml en mtrz 6, respectivamente de acuerdo con el volumen de agua que fue agregado, el volumen final son los 25 ml que es con el que la muestra se mantiene en todos los matraces. Por tanto, aplicamos la ecuación (15) para así obtener la concentración final en cada matraz.

Se sustituyeron los valores en ecuaciones (13), (14) y (16) (Véase anexo B5).

En el matraz 7 el volumen del ácido acético fue cero, por tanto, no existe cálculo de los gramos finales; y sin embargo la concentración final es cero (0).

➤ **ARCILLA**

Velocidad de adsorción

1. En una serie de 7 matraces se agregó 20 ml de ácido acético 0.25 N en cada uno y se taparon bien con ayuda de corchos.
2. Se pesó 1 g de arcilla por cada uno de los 7 matraces. Ver figura 7.2.5.
3. Se vertió con ayuda de un embudo pequeño 1g de arcilla en el primer matraz, se selló bien y agitó continuamente durante 2 min.
4. Una vez transcurrido los 2 min, se filtró el contenido del primer matraz con papel filtro, eliminando los primeros 5ml de filtrado.
5. Se tomó una alícuota de 1ml de filtrado y se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador. Se repitió la titulación del filtrado para mejores resultados.
6. Se repitió los puntos 4 y 5 con los demás matraces filtrando una vez transcurrido los tiempos indicados en la tabla de resultados.

NOTA: Para mejores resultados de la velocidad de adsorción, se utilizaron 3 matraces más en un intervalo de 2 a 4 minutos.



Figura 7.2.5 Serie de matraces para el cálculo de velocidad de adsorción de arcilla.

Datos obtenidos de la titulación

Tabla 7.4.6 Volúmenes obtenidos en la titulación de velocidad de adsorción para arcilla

No. Matraz	NaOH (ml)		Tiempo (min)
1	2.1	2.1	2
2	2	2	2.5
3	2.1	1.9	3
4	1.95	2	3.5
5	2	1.9	4
6	2	1.9	6
7	2	1.9	8
8	2	1.9	10
9	1.9	2	12
10	1.9	2	14

Isoterma de adsorción

1. Se preparó la serie de matraces con las siguientes cantidades:

Tabla 7.4.7 Preparación de matraces para isoterma de adsorción de arcilla

No. De matraz	1	2	3	4	5	6	7
Ac.Ac. 0.5 N (ml)	25	20	15	10	7	3	0
Agua (ml)	0	5	10	15	18	22	25

NOTA: El procedimiento se hizo uno por uno (individualmente).

2. Se pesó y agregó 1 gr de arcilla a cada matraz.

3. Se agitó el matraz durante 10 min. Ver figura 7.2.6.

4. Una vez que transcurrió el tiempo, se filtró el contenido del matraz eliminando los primeros 5 ml del filtrado.

5. Se tomó alícuotas de los filtrados y se tituló con NaOH 0.1 N (se realizó por duplicado). Las alícuotas fueron las siguientes: 1 ml del primer matraz, 2 ml del segundo y 5 ml de cada uno de los demás.



Figura 7.2.6 Proceso para el cálculo de isoterma de adsorción de arcilla.

Datos obtenidos de la titulación

Tabla 7.4.8 Volúmenes obtenidos en la titulación de isoterma de adsorción de arcilla

No. Matraz	Arcilla	Ácido Acético	Agua	NaOH		t	Alícuotas
	[g]	[ml]	[ml]	[ml]		[min]	[ml]
1	1	25	0	4.1	4.1	10	1
2	1	20	5	7.1	7.5	10	2
3	1	15	10	15	14	10	5
4	1	10	15	9.1	8.9	10	5
5	1	7	18	6.4	6.2	10	5
6	1	3	22	2.5	2.6	10	5
7	1	0	25	0.1	0.1	10	5

Cálculos

Velocidad de adsorción

Ácido Acético

Tomando en cuenta que el volumen de ácido acético en todos los matraces fue de 20 ml; para obtener los gramos iniciales se realizaron los siguientes cálculos.

Repetimos procedimientos de los cálculos al igual que con el carbón activado, ecuación (13) (Véase anexo B6).

Hidróxido de Sodio

Considerando que el volumen son los mililitros gastados en la titulación.

Para los gramos de ácido acético después del filtrado se recurre a una regla de 3.

Para los gramos finales del ácido acético, se utilizó ecuación (14) (Véase anexo B7).

Isoterma de adsorción

Ácido Acético

Tomando en cuenta que el volumen de ácido acético en todos los matraces fueron distintos por el motivo de que hubo volumen de agua a partir del segundo matraz y se tenía una concentración inicial, se realizó el cálculo de la concentración final.

Se realizó la sustitución en la ecuación (13) (Véase anexo B8).

Hidróxido de Sodio

Considerando que el volumen son los mililitros gastados en la titulación.

Para los gramos de ácido acético después del filtrado se recurre a una regla de 3.

Para los gramos finales del ácido acético, se utilizó la ecuación (14).

Para obtener la concentración final del ácido acético, se recurrió a la ecuación (16).

Para los siguientes valores, se utilizaron las ecuaciones (13), (14) y (16) (Véase anexo B9).

Para el matraz 7, el volumen del ácido acético fue cero, por tanto, no existe cálculo de los gramos finales; y sin embargo la concentración final es cero (0).

7.4. Modelos a los que se ajustaron los datos de isothermas de adsorción

Parámetros de la isoterma de Lagmuir y Freundlich

La isoterma de Langmuir se puede describir mediante la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{K_L C}{1 + K_L C} \dots \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

K_L es la constante de equilibrio y

C es la concentración en el equilibrio de adsorción

Basado en los resultados obtenidos en la isoterma de adsorción para el carbón activado y la arcilla. Ajustamos estos valores a la ecuación de Freundlich que es la ecuación a la que mejor se ajustan los resultados, para obtener los parámetros de isoterma y los coeficientes de la ecuación.

La ecuación de Freundlich es la siguiente:

$$\frac{x}{m} = k \cdot C^n \dots \text{Ecuación (18)}$$

Donde:

x es la masa de adsorbato

m es la masa de adsorbente

C es la concentración de equilibrio del adsorbato en disolución.

k y n son constantes para un adsorbato y adsorbentes dados, y para una temperatura particular.

CAPITULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

1.- Determinación de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua potable y de la caldera

1) Dureza

Dureza total de las distintas aguas:

De acuerdo con los resultados de dureza, basados en su clasificación, el agua potable proveniente directamente de la llave se define como dureza blanda con 164 ppm, una vez que pasa por el filtro de arena, la dureza aumenta a 250 ppm y se clasifica como Semi Dura; requiriéndose así, tratamiento al filtro de arena puesto que ya no beneficia en la limpieza. Cuando el agua pasa por el filtro de zeolitas, sabiendo que es un buen adsorbente, ésta elimina la mayor parte de impurezas clasificándose como agua blanda con una dureza de 138 ppm. Mientras que el agua potable que va directamente a la caldera no debe contener dureza, por este motivo pasa a través de filtros; y, sin embargo, esta agua se considera Semi Dura con una dureza de 320 ppm (ver tabla 8.1), haciendo una comparación con el agua de la llave tiene una dureza muy elevada y se considera que esto es debido a las diversas circunstancias presentes en las tuberías (aceite, sarro, corrosiones, impurezas del agua).

Tabla 8.1 Resultados de la dureza total

AGUA	DUREZA TOTAL [ppm]	CLASIFICACIÓN
Agua potable de la llave	164	Agua Blanda
Agua potable que va a la caldera	320	Agua Semi Dura
Agua del filtro de arena	250	Agua Semi Dura
Agua del filtro de zeolitas	138	Agua Blanda

2) Sólidos sedimentables

Una vez tomando muestras de 1L se obtuvieron los siguientes ml de sólidos sedimentables presentes en cada muestra a la hora y a las 24 h puesto que a cierto tiempo aun contenían sólidos, se observa que el agua potable de la llave contiene una cantidad considerable de sólidos presentes, mientras que una vez que pasa por el filtro de arena, ésta queda desventajosamente con más cantidad de sólidos puesto que el filtro no ha tenido y requiere mantenimiento, en seguida pasa por el filtro de zeolitas el cual elimina la mayor parte de sólidos obteniendo 0.03 ml/L a la hora y 0.05 ml/L a las 24 h por lo que es menor que la del agua potable proveniente de la llave, pero, también se observa que el agua potable que va a la caldera contiene una cantidad de 0.06 ml/L a la hora y 0.5 ml/L a las 24 h analizando aumento de sólidos a las 24 h en comparación con la del agua de la llave o sobre todo con el filtro de zeolitas (ver tabla 8.1.1 y gráfico 8.1). Considerando que esta agua que ingresa a la caldera no es lo suficientemente limpia puesto que se podría realizar algunas mejoras en esa sección de tuberías.

Tabla 8.1.1 Resultados de sólidos sedimentables

AGUA	TIEMPO [h]	ml/L
Agua potable de la llave	1	0.21
	24	0.25
Agua potable que va a la caldera	1	0.06
	2	0.5
Agua del filtro de arena	1	0.8
	24	1.4
Agua del filtro de zeolitas	1	0.03
	2	0.05

Se consideró los ml por un 1L de muestra

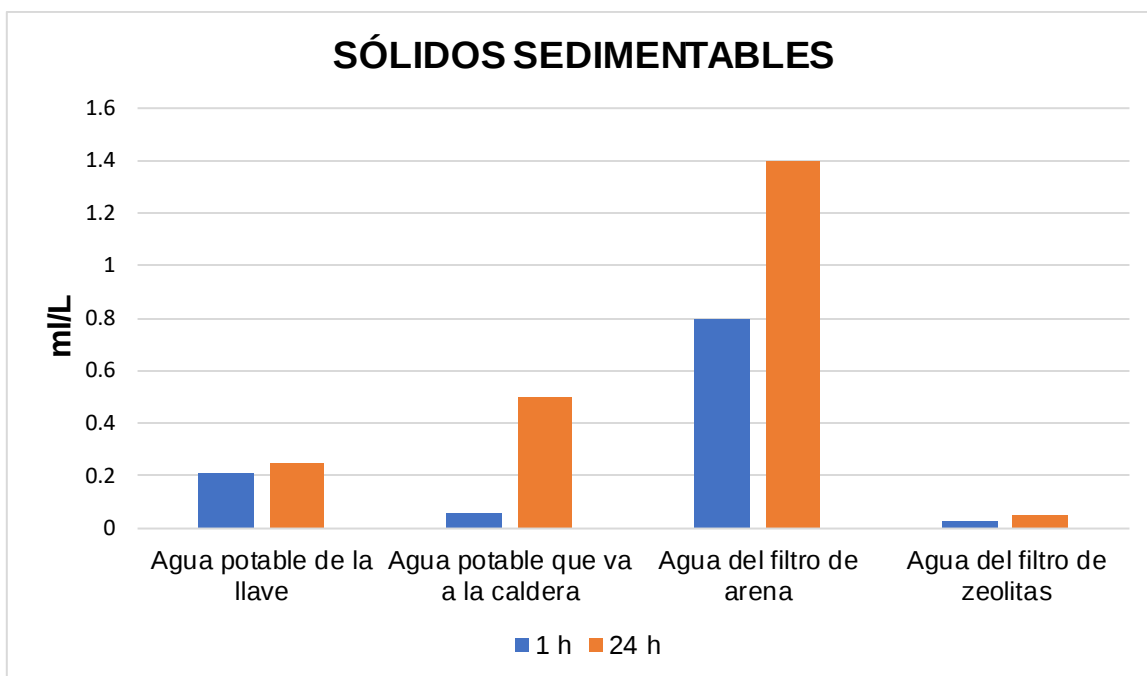


Gráfico 8.1 de barras de solidos sedimentables.

3) Acidez y alcalinidad

Se sabe que la acidez es la capacidad cuantitativa del agua para reaccionar con los iones hidroxilos mientras que la alcalinidad es la capacidad cuantitativa del agua para reaccionar con los iones hidrógenos. Observamos que cada una de las muestras pertenecen a una baja acidez, aunque el agua del filtro de arena (14 mg/L) sea mayor al resto. Las muestras con un pH 7 tienen acideces similares aprox., mientras que las demás muestras varían de acuerdo con el sitio de donde provienen (filtros, tuberías). En cambio, en la alcalinidad, la cual tiene presente los iones bicarbonatos (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-), es una medida de la capacidad del agua para resistir a cambios en el pH cuando sea agregado un ácido. Entre más alto sea el nivel de alcalinidad, puede disminuir la toxicidad de los metales pesados usando los bicarbonatos y carbonatos presentes para eliminar los metales de las soluciones, pero para las tuberías y caldera, la alta alcalinidad puede provocar obstrucciones o acumulación de minerales; siendo así un problema ya que las muestras del agua potable de la llave (288.3 mg/L) y sobre todo la que va a la caldera (230 mg/L) tienen una alta alcalinidad (ver tabla 8.1.2).

Tabla 8.1.2 Resultados de Acidez y Alcalinidad

AGUA	ACIDEZ TOTAL COMO CaCO_3 EN mg/L	ALCALINIDAD TOTAL COMO CaCO_3 EN mg/L
Muestra de Agua Destilada pH7	3	70.6
Muestra de agua de garrafón pH7	3	123.3
Muestra de agua potable pH7	5.6	108
Agua potable de la llave	8.3	288.3
Agua potable que va a la caldera	5	230
Agua del filtro de Arena	14	170
Agua del filtro de zeolitas	4	150

4) pH

Los pH de las muestras de agua son comunes o normales siendo todos estos básicos, aunque se obtuvo un pH 8.2 en el agua del filtro de arena siendo el más alcalino de todos por lo que requiere de un mejor tratamiento (ver tabla 8.1.3); aun así, los pH vienen siendo en un rango similar y de alguna u otra manera se requeriría un pH neutro aproximadamente para evitar problemas en las tuberías y calderas, aunque sean pH “convenientes”.

Tabla 8.1.3 Resultados del pH

AGUA	pH
Agua potable de la llave	8
Agua potable que va a la caldera	7.9
Agua del filtro de arena	8.2
Agua del filtro de zeolitas	7.9

5) Conductividad

Como se sabe la conductividad es definida como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. La conductividad y la salinidad se relacionan porque la cantidad de iones disueltos aumenta los valores de ambas. Por este motivo una desventaja es que la salinidad y otras sustancias afectan la calidad del agua potable. La conductividad varía según la fuente de agua y es medida con sondas electrónicas que aplican un voltaje entre dos electrodos, cuando el voltaje disminuye se usa para medir la resistencia del agua que es traducida a conductividad y ésta es el valor inverso de la resistencia el

cual se mide como la cantidad de conductancia a una distancia determinada; representando sus unidades en $\mu\text{s/cm}$. En los resultados podemos tomar en cuenta la temperatura que también es un factor, cuando la temperatura aumenta, la conductividad también.

El rango de conductividad para el agua potable es de 30-1500 $\mu\text{s/cm}$, el cual está presente en los electrodos celda djs-10c electrodo negro de platino y celda djs-1c electrodo negro de platino, sin embargo; los valores menores a estos se deben a el tipo de electrodo utilizado. A raíz de esto se observa que los valores más elevados para la celda djs-1c electrodo brillante, se encuentran entre el agua del filtro de arena y el agua potable que va a la caldera (ver tabla 8.1.4). Por tanto, esta celda identifica las aguas que requieren de un tratamiento.

Tabla 8.1.4 Resultados de conductividad

AGUA	CELDA DJS-10C ELECTRODO NEGRO DE PLATINO [$\mu\text{s/cm}$]	CELDA DJS-1C ELECTRODO NEGRO DE PLATINO [$\mu\text{s/cm}$]	CELDA DJS-1C ELECTRODO BRILLANTE [$\mu\text{s/cm}$]	ELECTRODO DE ALEACIÓN DE TITANIO [$\mu\text{s/cm}$]
Agua potable de la llave	982	837	4.20	0.01
Agua potable que va a la caldera	948	835	4.40	0.01
Agua del filtro de arena	962	84	4.55	0.01
Agua del filtro de zeolitas	411	36.5	2.86	0.01

6) Turbidez

De acuerdo con el gráfico tomando una absorbancia de 0 y una transmitancia de 100 como blanco y en base a las longitudes de onda, se puede observar la turbidez del agua de cada una de las muestras. Los factores que más predominan en la intensidad y distribución espacial de la luz dispersa son la longitud de onda y tamaño de las partículas. En las aplicaciones biológicas el tamaño de las partículas está en un rango alto de 100-500nm (coloides), mientras que, en este caso, las mediciones de turbidez están normalmente en el rango de infrarrojo cercano de 700-1000nm. Se logra distinguir que entre el agua potable de la llave y el filtro de zeolitas tienen una baja turbidez considerando un agua semi limpia para el ingreso a la caldera, sin embargo, una vez que esta agua pasa por el filtro de arena mantiene una turbidez elevada ya que el pico que se muestra en el grafico 8.2 se encuentra en los 600nm y a 0.1 aprox. de absorbancia a causa de las partículas

presentes en ella, sobre todo la cantidad de sólidos. Mientras que la turbidez del agua que va a la caldera es menor que el del filtro de arena, pero mayor al filtro de zeolitas que es el último proceso en el tratamiento de ella; considerando entonces los diferentes problemas presentes en el interior de las tuberías lo que podría ocasionar el aumento de turbidez del agua que ya ingresa a dicha caldera.

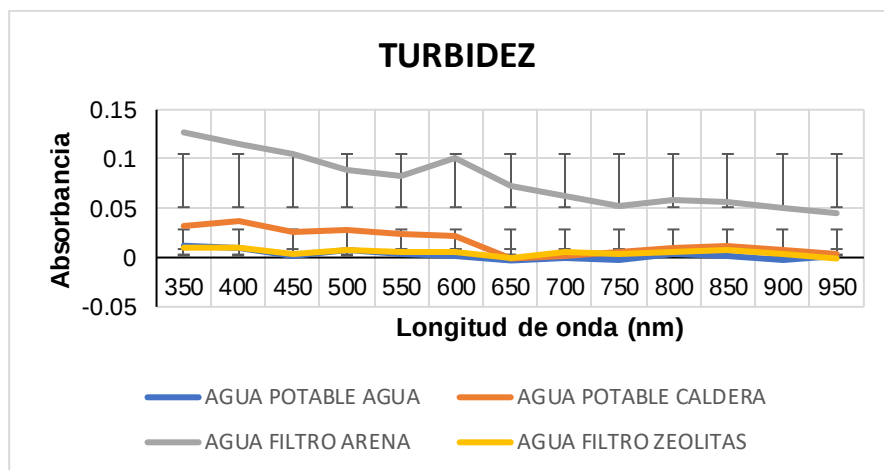


Gráfico 8.2 Resultados de turbidez.

7) Tamizado de la arcilla

De acuerdo con el tamizado, el cual se basa en la caracterización de la arcilla y en la distribución del tamaño de partícula, en el tamiz numero 80 (ver tabla 8.1.5) hubo una mayor cantidad de partículas, seguida por la malla número 200, puede decirse que más del 50 % de las partículas tienen un tamaño de 0.177 a 0.074 mm, que se ubica en la malla 80 y 200.

Tabla 8.1.5 Resultados del tamizado de la arcilla

No. De Tamiz	Cantidad obtenida en cada tamiz [g]	Porcentaje [%]
40	0.3555	0.35
50	6.2432	6.24
60	14.3123	14.31
80	23.7188	23.71
100	8.3728	8.37
200	21.4275	21.42
300	10.0848	10.08
Cantidad sobrante	12.4724	12.47

2.- Obtención de las cinéticas e isotermas de adsorción

1) Carbón activado

Velocidad de adsorción

La cinética describe la velocidad de adsorción del adsorbato (ácido acético) en el adsorbente (carbón activado) y determina el tiempo en el que se alcanza el equilibrio.

De acuerdo con la tabla 8.1.6, en el gráfico 8.3 se observa la cinética de adsorción de x sobre m donde se graficaron los valores de cantidad adsorbida x/m representada en unidades adimensionales, en función del tiempo representado en minutos. Todo esto a una misma concentración.

Donde:

x =g de la sustancia adsorbida

m =g de la sustancia adsorbente

Esto permitió determinar el tiempo en el que la concentración alcanza el equilibrio, observando que, en los primeros tiempos, de 2 a 10 min la concentración es variante, mientras que en el minuto 12 la concentración alcanza el equilibrio utilizando carbón activado.

Tabla 8.1.6 Resultados de la velocidad de adsorción del carbón activado

Mtz	Carbón	Ácido Acético			NaoH	T
No.	[g]	Cs [g]	x [g]	x/m	[ml]	[min]
1	1	0.25	0.288	0.288	2	2
2	1	0.25	0.2886	0.2886	1.9	4
3	1	0.25	0.2892	0.2892	1.8	6
4	1	0.25	0.2898	0.2898	1.7	8
5	1	0.25	0.2898	0.2898	1.7	10
6	1	0.25	0.2904	0.2904	1.6	12
7	1	0.25	0.2904	0.2904	1.6	14

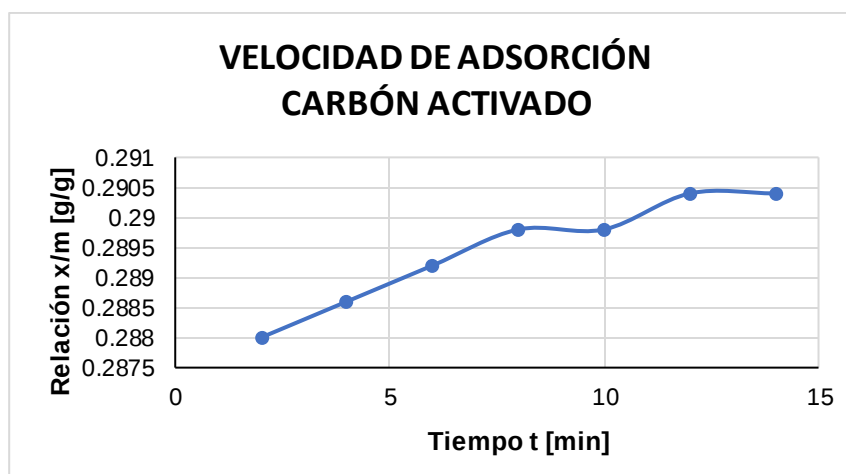


Gráfico 8.3 Velocidad de adsorción del carbón activado.

Isoterma de adsorción

De acuerdo con la tabla 8.1.7 a la que se le aplicó la ecuación de Lagmuir, al determinar la relación x/m en función de la concentración final C_{sf} (a temperatura constante), la curva que representa este fenómeno recibe el nombre de isoterma de adsorción como se muestra en el grafico 8.4.

Se observa que el gráfico traza una semi curva de manera descendente, ya que, a diferentes volúmenes de ácido acético y agua, a medida que la relación x/m disminuye, también lo hace la concentración final.

Tabla 8.1.7 Resultados de isoterma de adsorción de carbón activado

Nom. Mtz	Ácido acético	Agua	NaOH	carbón	Ácido Acético						
	[ml]	[ml]	[ml]	[g]	X	Csf	x/m	ln (Csf)	ln (x/m)	m/x	1/Csf
1	25	0	3.75	1	0.7275	0.5	0.7275	-0.69314718	-0.31814128	1.37457045	2
2	20	5	6.75	1	0.5595	0.4	0.5595	-0.91629073	-0.58071175	1.7873101	2.5
3	15	10	12.5	1	0.375	0.3	0.375	-1.2039728	-0.98082925	2.66666667	3.33333333
4	10	15	8.1	1	0.2514	0.2	0.2514	-1.60943791	-1.38070998	3.97772474	5
5	7	18	5.8	1	0.1752	0.14	0.1752	-1.96611286	-1.7418271	5.70776256	7.14285714
6	3	22	2.5	1	0.075	0.06	0.075	-2.81341072	-2.59026717	13.33333333	16.6666667
7	0	25	0.5	1	0	0	0		0	0	

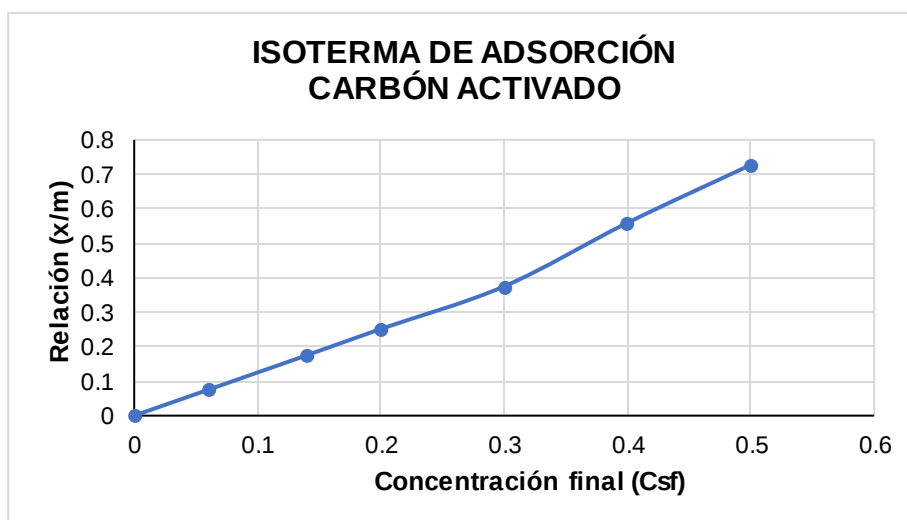


Gráfico 8.4 Isoterma de adsorción del carbón activado.

Parámetros de la isoterma de Freundlich para el carbón activado

De acuerdo con el gráfico 8.5 se realizó una constante de adsorción, similar a la isoterma de adsorción, en este caso aplicando logaritmo natural a la relación x/m y a la concentración final C_{sf} . Sin embargo, se observa una semi curva que se presenta de igual manera de forma descendente. De este gráfico, surgieron los valores de la pendiente el cual se presenta como la constante para un adsorbente “n” la constante para un adsorbato “K” como se muestra en la tabla 8.1.8.

Tabla 8.1.8 Parámetros isoterma de Freundlich carbón activado

Ca				
Cs	x/m	log10(cs)	Log10(x/m)	x/m modelado con Freundlich
0	0			
0.06	0.075	-1.22184875	-1.12493874	0.07222299
0.14	0.1752	-0.85387196	-0.7564659	0.17803162
0.2	0.2514	-0.69897	-0.59963473	0.26027757
0.3	0.375	-0.52287875	-0.42596873	0.40081015
0.4	0.5595	-0.39794001	-0.25219991	0.5444694
0.5	0.7275	-0.30103	-0.138167	0.69049933

Tabla 8.1.9 Coeficientes de la ecuación de Freundlich carbón activado

M	B	K
N	Lonk	
1.0648	0.1597	1.44444164

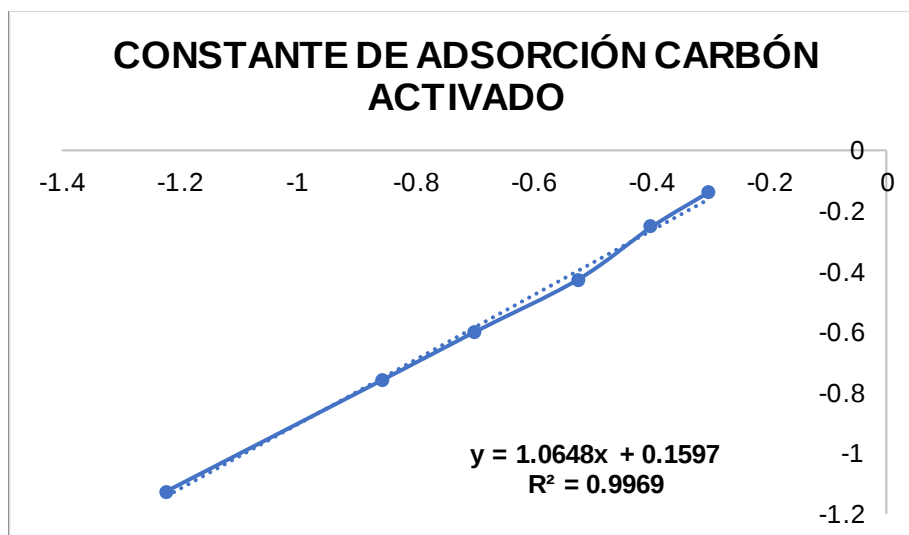


Gráfico 8.5 Constante de adsorción del carbón activado.

Una vez determinado los coeficientes que pertenecen a la ecuación de Freundlich a partir del grafico 8.5, se ajustaron dichos coeficientes a la ecuación para determinar los valores presentados en el gráfico 8.6. El cual presenta la simulación de la ecuación de Freundlich considerando la relación x/m con la concentración final, y los datos experimentales que son los valores obtenidos una vez que se ajustó a la ecuación, también presentados en la tabla 8.1.8 que por consiguiente presenta un comportamiento similar al simulado.

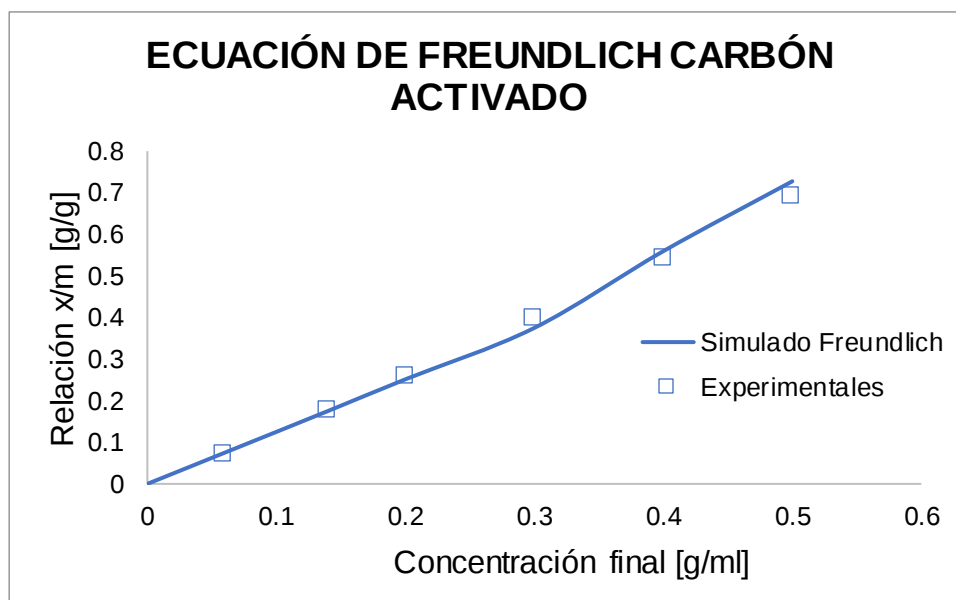


Gráfico 8.6 Ajuste a la ecuación de Freundlich del carbón activado.

2) Arcilla

Velocidad de adsorción

Se observa en la tabla 8.2 y en el gráfico 8.7 que en los primeros minutos la concentración es muy poco cambiante, mientras que en el minuto 4 la concentración alcanza el equilibrio, permaneciendo así hasta los 14 minutos. Determinando que la arcilla tiene una rápida velocidad de adsorción del adsorbato en el adsorbente.

Tabla 8.2 Resultados de la velocidad de adsorción de arcilla

Mtz No.	Arcilla [g]	Ácido Acético			NaoH [ml]	T [min]
		Cs [g]	x [g]	x/m		
1	1	0.25	0.2874	0.2874	2.1	2
2	1	0.25	0.288	0.288	2	2.5
3	1	0.25	0.288	0.288	2	3
4	1	0.25	0.28815	0.28815	1.975	3.5
5	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	4
6	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	6
7	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	8
8	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	10
9	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	12
10	1	0.25	0.2883	0.2883	1.95	14

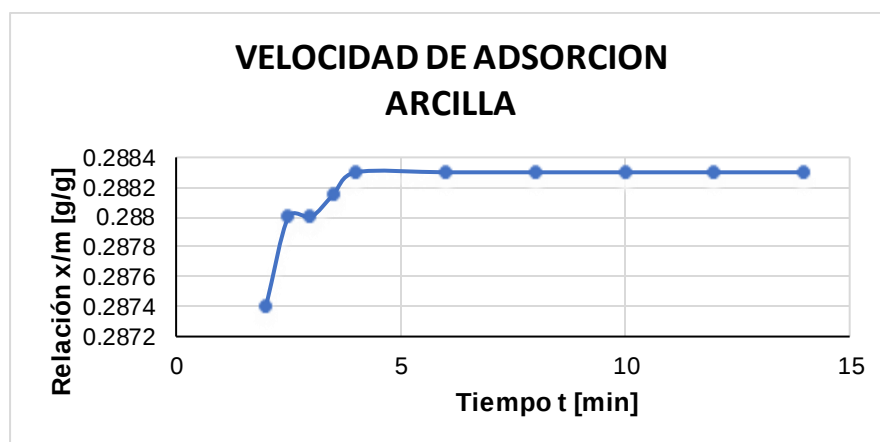


Gráfico 8.7 Velocidad de adsorción de arcilla.

Isoterma de adsorción

El gráfico 8.8 es quien recibe el nombre de isoterma de adsorción, el cual representa la relación x/m en función de la concentración final C_{sf} respecto a una temperatura constante. Se observa que la curva presentada en este gráfico va de manera descendente ya que en la tabla 8.2.1 a la que se le aplicó la ecuación de Lagmuir, los volúmenes de ácido acético y el agua son distintos, pero con una determinada proporción; lo que ocasiona que al disminuir x/m también disminuye la concentración final. El rango de valores en donde se ocasiona una ligera curva es entre la concentración final 0.4 a 0.2.

Tabla 8.2.1 Resultados de isoterma de adsorción de arcilla

Nom. Mtz	Acido acetico	Agua	NaOH	Arcilla	Ácido Acético						
	[ml]	[ml]	[ml]	[g]	X	Csf	x/m	ln (Csf)	ln (x/m)	m/x	1/Csf
1	25	0	4.1	1	0.7254	0.5	0.7254	-	-	1.37854977	2
2	20	5	7.3	1	0.5562	0.4	0.5562	-	-	1.79791442	2.5
3	15	10	14	1	0.366	0.3	0.366	-1.2039728	1.00512195	2.73224044	3.33333333
4	10	15	9	1	0.246	0.2	0.246	-	-	4.06504065	5
5	7	18	6.3	1	0.1722	0.14	0.1722	-	-	5.80720093	7.14285714
6	3	22	2.55	1	0.0747	0.06	0.0747	-	-	13.3868809	16.6666667
7	0	25	0.1	1	0	0	0	0	0	0	0

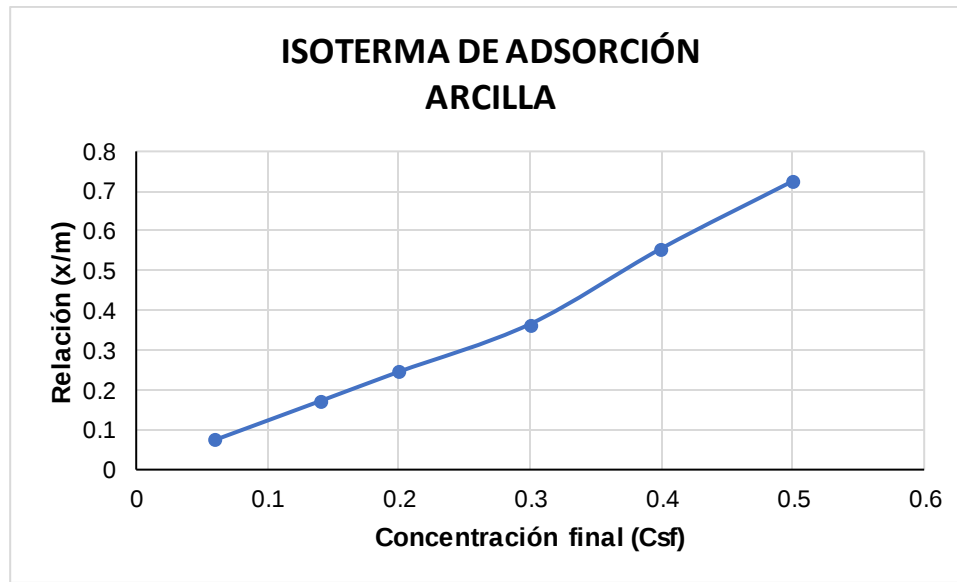


Gráfico 8.8 Isoterma de adsorción de arcilla.

Parámetros de la isoterma de Freundlich para la arcilla

En la constante de adsorción presentado en el gráfico 8.9, una vez que a la relación x/m y la concentración final se le aplicó logaritmo natural, se observa una disminución de valores por lo que se forma una curva de manera descendente.

Es de aquí en donde en base a dicha curva, obtenemos la pendiente presentada como constante para un adsorbente “n” y el valor de la constante para un adsorbato “k”, para así determinar el resto de los coeficientes que nos permita ajustar a la ecuación de Freundlich.

Tabla 8.2.2 Parámetros isoterma de Freundlich arcilla

C	x/m	Log10(C)	Log(x/m)	x/m modelado con Freundlich
0	0			
0.06	0.0747	-1.22184875	-1.1266794	0.07129405
0.14	0.1722	-0.85387196	-0.76396685	0.17575664
0.2	0.246	-0.69897	-0.60906489	0.25696078
0.3	0.366	-0.52287875	-0.43651891	0.39571856
0.4	0.5562	-0.39794001	-0.25476902	0.53756834
0.5	0.7254	-0.30103	-0.13942245	0.68176258

Tabla 8.2.3 Coeficientes de la ecuación de Freundlich arcilla

M	B	K
N	Lonk	
1.0649	0.1542	1.42626426

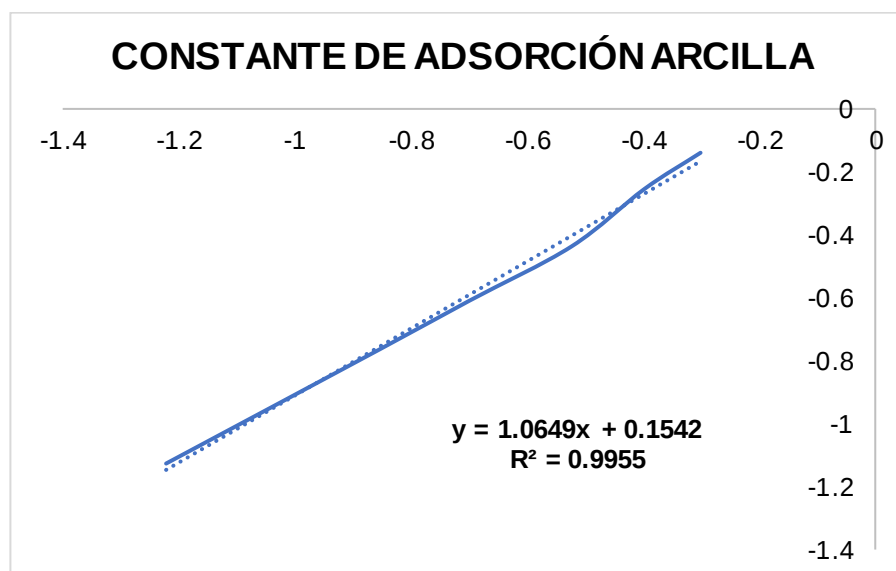


Gráfico 8.9 Constante de adsorción de arcilla.

Una vez obtenidos los coeficientes del gráfico 8.9, se ajustaron a la ecuación de Freundlich para obtener el resto de los parámetros y los valores que se presentaron en el gráfico 9, el cual muestra una simulación de la ecuación en base a la relación x/m y concentración final, y los valores ya obtenidos después de aplicarse a la ecuación de Freundlich representado como experimental. Que presentan un comportamiento similar. Aunque en comparación al carbón activado; el carbón activado presenta un mejor ajuste a la ecuación de Freundlich que la arcilla, pero sin duda la arcilla es un buen componente suplente del carbón activado.

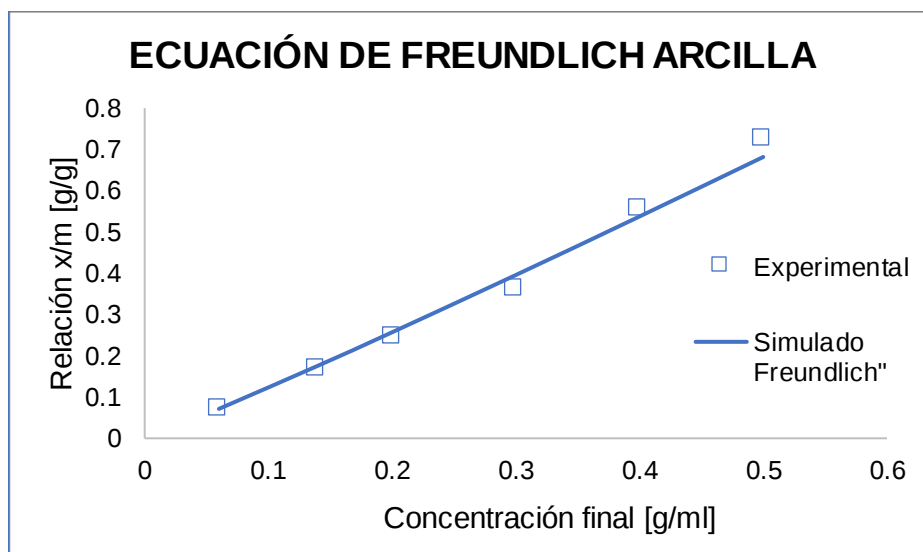


Gráfico 9 Ajuste a la ecuación de Freundlich de arcilla.

Comparación de las cinéticas e isotermas de adsorción

De acuerdo con los gráficos 8.2 (carbón activado) y 8.6 (arcilla), Comparando las dos cinéticas, gráfico 9.1; la cinética de arcilla llega mucho más rápido al equilibrio en comparación con la cinética de carbón activado.

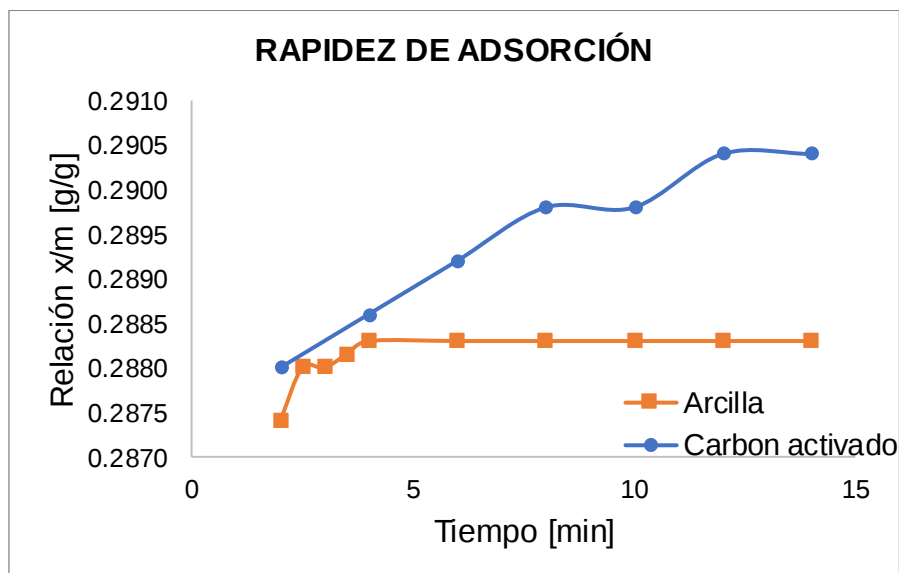


Gráfico 9.1 Comparación rapidez de adsorción.

De acuerdo con el siguiente gráfico, en el caso de la isoterma de adsorción se ve que las dos isotermas de adsorción tanto de la arcilla como del carbón activado tienen el mismo comportamiento, o adsorben de la misma manera.

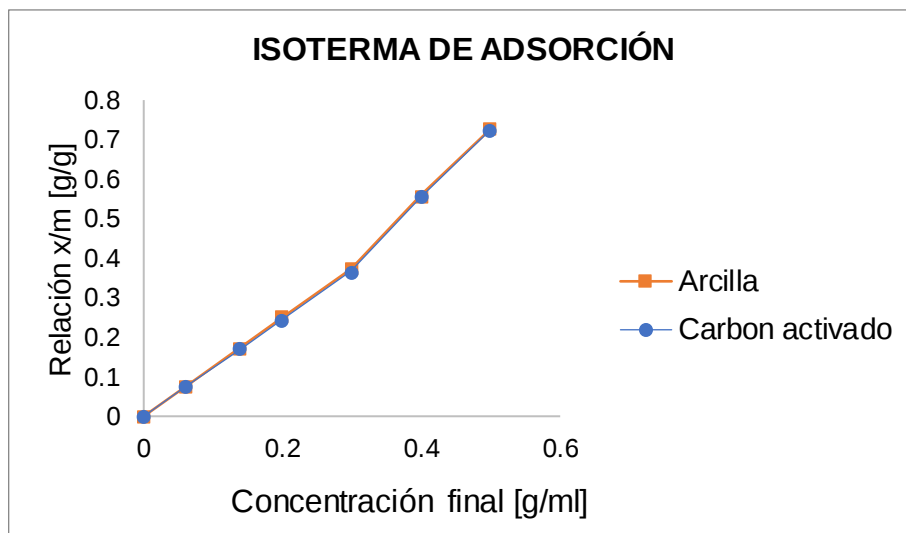


Gráfico 9.2 Comparación de isotermas de adsorción.

Para que se llegara a obtener las cinéticas e isotermas de adsorción, los datos obtenidos a partir del proceso de práctica, se ajustó a un modelo matemático, en las cuales se utilizó la ecuación de Lagmuir y la ecuación de Freundlich, posicionando la ecuación de Freundlich como el modelo al que mejor se ajustaron los valores ya que fue más práctico y más eficaz.

Al comparar la capacidad adsorptiva de la arcilla con el carbón activado en los gráficos 9.1 y 9.2, se obtuvo como producto beneficioso la arcilla obtenida en el estado de Oaxaca, siendo mejor adsorbente que el carbón activado.

CAPITULO IX. CONCLUSIÓN

Se obtuvieron las cinéticas de adsorción e isothermas de sorción de la arcilla obtenida en el estado de Oaxaca, afirmando de esta manera nuestro objetivo principal.

En la determinación de los parámetros fisicoquímicos, en las muestras de agua de la caldera, los resultados debieron ser favorable para el buen funcionamiento de ella, sin embargo, la mayoría de los resultados fueron elevados, sobre todo en la determinación de dureza, ya que el agua potable ingresante a la caldera debe de presentar una dureza de 0 ppm, suceso que no ocurrió; entonces, se sugiere implementar un tratamiento preventivo que permita reducir esta dureza antes de su ingreso. Por consiguiente, los sólidos sedimentables y la turbidez fueron los siguientes parámetros con valores desfavorables para el agua ingresante a la caldera. Obteniendo como desventajas de estos resultado incrustaciones, sarro y deterioro de la caldera.

Como propuesta se requiere mantenimiento en las tuberías de ingreso a la caldera y en el filtro de arena, o en todo caso, descartar el filtro de arena en este proceso de limpieza, ya que fue este filtro y el agua que va a la caldera los que presentaron resultados elevados y desventajosos.

Para los resultados obtenidos en la determinación de cinéticas e isothermas de sorción, se observa que la arcilla puede ser un buen sustituyente del carbón activado como medio adsorbente, ya que para los resultados de velocidad de adsorción el carbón activado alcanza el equilibrio de concentración en el minuto 12, mientras que la arcilla alcanza el equilibrio en el minuto 4, demostrando que la arcilla tiene una velocidad adsorptiva más rápida que el carbón activado. Sin embargo, en la isoterma de adsorción ambas curvas se mantuvieron similares.

Es importante destacar que la arcilla aparte de ser buen adsorbente es un compuesto mucho más económico y sobre todo no requiere de activación química como el carbón activado para ser utilizada.

REFERENCIAS

- Bahamondes, P. A. (12 de Mayo de 2018). Aguas de Alimentación de Calderas. *Aguas de Alimentación de Calderas*, págs. 1-18.
- Bartual, J. G. (27 de Abril de 2021). TELWESA. Obtenido de Aguas industriales: Diferencias y tipos de tratamiento: <https://telwesa.com/aguas-industriales/#:~:text=Las%20aguas%20industriales%20son%20todas,ser%20tratadas%20para%20su%20reutilizaci%C3%B3n>.
- Behn, A. O. (16 de Agosto de 2020). Tratamiento de Agua para Calderas. *Tratamiento de Agua para Calderas*, págs. 1-17.
- Burgada, B. B. (11 de Enero de 2022). *Estos son los productos que más agua consumen en su fabricación*. Obtenido de La vanguardia Natural: <https://www.lavanguardia.com/natural/20220110/7969360/huella-hidrica-agua-consumo-sostenibilidad-nbs.html>
- Carbotecnia. (18 de Febrero de 2020). *Carbotecnia*. Obtenido de Agua para procesos industriales: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/agua-para-procesos-industriales/>
- Castellar, G. (11 de Marzo de 2013). EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DEL COLORANTE AZUL DE METILENO SOBRE CARBÓN ACTIVADO. *CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES-Artículo Científico*, págs. 263 - 271.
- Cecilia, C. O. (20 de Junio de 2017). Evaluación de un carbón activado comercial en la remoción del colorante DB2. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIA ANIMAL*, págs. 164-170.
- Chikizurita. (5 de Mayo de 2015). *Fisicoquímica*. Obtenido de Procesos de adsorción: <https://fisicoquimica1.wordpress.com/adsorcion/>
- Corona Figueroa, M. F. (2021). Confirmación de la presencia de la nutria neotropical, *Lontra longicaudis*, en la laguna de Bacalar, Quintana Roo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 291-305.
- Denis, A. R. (20 de Septiembre de 2021). De arcillas sintéticas a naturales cubanas: aplicaciones farmacéuticas y medioambientales. *CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS*, págs. 34-43.
- Edeso, M. (18 de Marzo de 2021). *Derecho al Agua: 5 razones por las que el agua es un Derecho Humano Fundamental*. Obtenido de Fundacion Anesvad: <file:///C:/Users/52971/Zotero/storage/B5P6MFIN/5-razones-por-las-que-el-agua-es-un-derecho-humano-fundamental.html>
- Etecé, E. (5 de Agosto de 2021). *Enciclopedia Concepto*. Obtenido de Agua Potable: <https://concepto.de/agua-potable/>

- Fuentes-López, L. (4 de Mayo de 2018). Application of double filtration with granular activated carbon for Atrazine reduction on water treatment processes. *Revista DYNA*, págs. 184-190.
- Gallegos, M. T. (Octubre de 2014). EL DERECHO HUMANO AL AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO. En A. O. Pérez, *EL DERECHO HUMANO AL AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO* (págs. 3-20). México, D. F.: Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Gamboa-Carballo, J. J. (25 de Mayo de 2016). Interacción de la 1-yodocloroconona como radiotrazador, con el grupo carboxilato en carbón activado. *Ciencias Nucleares*, págs. 14-18.
- García, M. S. (20 de Abril de 2015). ESTUDIO DE ADSORBENTES ARCILLOSOS PARA UNA APLICACIÓN SOSTENIBLE. *UNIVERSIDAD DE SALAMANCA Facultad de Ciencias Químicas Departamento de Química Inorgánica*, págs. 9-268.
- Gerónimo, M. (22 de Agosto de 2022). *Carbotecnia*. Obtenido de Intercambio iónico: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/suavizadores-y-desmineralizadores/que-es-el-intercambio-ionico-y-tipos-de-resinas/>
- Graymore, M. S. (22 de Junio de 2001). *Impacts of atrazine in aquatic ecosystems*. Obtenido de Environment International: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412001000319?via%3Dihub>
- Guadarrama, M. d. (2022). Complejación de metales por sustancias húmicas acuáticas como proceso natural, tomando como caso de estudio el Lago de Xochimilco, Ciudad de México, México. *Geofísica internacional*, 258-292.
- Gutiérrez, M. (2021). Fluoruro en aguas subterráneas de la región centro-norte de México y su posible origen. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 183-197.
- H. Valdes, M. S.-P. (14 de Noviembre de 2003). EFFECT OF OZONATION ON THE ACTIVATED CARBON SURFACE CHEMICAL PROPERTIES AND ON 2-MERCAPTOBENZOTHAZOLE ADSORPTION. *Latin American Applied Research*, págs. 219-223.
- Henández, M. Á. (23 de Octubre de 2003). ADSORCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN ARCILLAS DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, págs. 191-196.
- Hernández, F. (2017). Contribución del bombeo de Ekman a los cambios en las propiedades y volumen del Agua Intermedia del Pacífico Sur Oriental. *Artículo Gayana (Concepción)*, 2398-2412.

- Jose G. Carriazo, M. J. (3 de Mayo de 2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *cómo se experimenta*, págs. 224-229.
- León, V. (14 de Agosto de 2018). *Disponibilidad del agua*. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>
- Leyva, G. (5 de Enero de 2015). *Distribución de Agua en el Planeta*. Obtenido de Junta municipal de agua potable y alcantarillado de mazatlan: <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/>
- Loewy, M. (2020). Monitoreo de residuos de plaguicidas en aguas subterráneas para consumo humano en la provincia de Neuquén, Patagonia norte, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25-43.
- López, M. A. (2021). Nuevos usos contra acuerdos precedentes en la cuenca internacional del río Colorado: la cervecera Constellations Brands. *Foro Internacional*, 81-102.
- Madrigal, F. H. (2022). La diferenciación en la masa de la semilla y la asignación de biomasa en plántulas de *Prosopis laevigata* a lo largo de su área de distribución en México está asociada con la disponibilidad de agua. *Botanical Sciences*, 85-97.
- Martinez, W. E. (2021). Tasa de ocupación y observaciones del tapir de Baird (*Tapirella bairdii*) cerca de pozos de agua en el corredor de la selva maya, Belice. *Therya*, 37-43.
- Mendoza, S. B. (16 de Mayo de 2022). ASOCIACIÓN MEXICANA DE ADSORCIÓN. Obtenido de ¿Qué es la adsorción?: <https://www.adsorcion.com.mx/ADSORCION/>
- Mijangos, M. (13 de Junio de 2016). *Reducir el uso de agua en la industria química europea*. Obtenido de Economically and Ecologically Efficient Water Management in the European Chemical Industry: <https://cordis.europa.eu/article/id/151163-cutting-water-use-in-the-european-chemical-industry/es>
- Miranda, C. M., Laverde, D., Avella, V., & Ballesteros, D. Y. (22 de Junio de 2015). Adsorción de iones Ni(II) sobre una arcilla bentonítica peletizada. *Revista ION*, pág. vol.28 no.2 .
- Mora, R. L. (2020). Agua que sobra, agua que falta. Las fuentes públicas y la sociabilidad del agua en la ciudad de México, 1770-1818. *Historia mexicana*, 227-244.

- Morgan, P. (8 de Septiembre de 2011). *Agua en el mundo*. Obtenido de Estadísticas del agua en México:
https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf
- Natividad, A. (2023). Situación del Agua en México. *IMCO Instituto Mexicano para la Competitividad. Centro de Investigación en la Política Pública*, 1-3.
- Paola Rodríguez, L. G. (22 de Noviembre de 2010). INFLUENCIA DEL pH SOBRE LA ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO DE Cd(II) Y Ni(II) DESDE SOLUCIONES ACUOSAS. *Revista Colombiana de Química*, págs. 2357-3791.
- Pérez, J. C. (15 de Junio de 2021). *Tratamiento de agua para calderas*. Obtenido de Canales sectoriales:
<file:///C:/Users/52971/Zotero/storage/4ENDFZ88/356671-Tratamiento-de-agua-para-calderas.html>
- Pizano, J. G. (2021). Distribución, abundancia y diversidad de eufáusidos, y su relación con los procesos hidrodinámicos en el cañón de Campeche, golfo de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 27-35.
- Reis, A. (2020). Análisis de la huella hídrica de los cultivos temporales producidos en São Carlos (SP), Brasil. *RBRH Revista Brasileña de Recursos Hídricos*, 1219-1228.
- Resende, E. C. (26 de Abril de 2010). PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) Y SU APLICACIÓN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS. *Revista Colombiana de Química*, págs. 2357-3791.
- Rodrigo, E. C. (12 de Enero de 2017). *El agua que se gasta al fabricar las cosas*. Obtenido de Club Inagua:
<file:///C:/Users/52971/Zotero/storage/EJKUUM76/agua-que-se-gasta-al-fabricar-cosas.html>
- Rodrigo, M. (22 de julio de 2020). *Usos del agua en las industrias*. Obtenido de Aguamarket: <file:///C:/Users/52971/Zotero/storage/IC6BAAR4/terminos.html>
- Rodrigues, J. A. (2021). Regionalización hidrológica de los caudales de la cuenca del río Tocantins en el bioma del Cerrado brasileño. *Revista Ambiente y Agua*, 89-97.
- Sánchez, A. J. (2023). Hacia el desarrollo de criterios de nutrientes en la cuenca Grijalva, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 649-660.

- Sela, G. (12 de Octubre de 2019). *Cropaia*. Obtenido de INTERCAMBIO IÓNICO:
<https://croipaia.com/es/blog/intercambio-ionico/>
- Sermerón, M. (8 de Septiembre de 2018). *¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos?* Obtenido de Campus la revolucion de las ideas:
<https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-se-necesita-para-producir-alimentos/>
- Simón, A. (22 de Diciembre de 2021). *¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?* Obtenido de Acuae Fundacion:
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>
- Vianna, R. (9 de Junio de 2004). SORPTION OF OIL POLLUTION BY ORGANOCCLAYS AND A COAL/MINERAL COMPLEX. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, págs. 239 - 245.

ANEXOS

1) DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA POTABLE

Anexo A1

Cálculo de la cantidad que se utilizó de Amoniaco 3N:

$$v = 200ml = 0.2 L$$

$$PM = 35.05 \frac{g}{mol}$$

$$eq = 1$$

$$\rho = 0.88 \frac{g}{ml}$$

$$N = \frac{(m)(eq)}{(PM)(V)} \dots \textbf{Ecuación (1)}$$

$$m = \frac{(N)(PM)(V)}{(eq)} \dots \textbf{Ecuación (2)}$$

$$m = \frac{(3N)(35.05 g/mol)(0.2L)}{(1)}$$

$$m = 21.03 g$$

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \textbf{Ecuación (3)}$$

$$V = \frac{m}{\rho} \dots \textbf{Ecuación (4)}$$

$$V = \frac{21.05 g}{0.88 g/ml}$$

$$V = 23.9 ml$$

Anexo A2

Cálculo para obtener los gramos de NaOH 1 N:

$$v = 200\text{ml} = 0.2\text{ L}$$

$$PM = 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$eq = OH^{+1} = 1$$

$$N = 1$$

$$m = ?$$

$$m = \frac{(1N)(40\text{ g/mol})(0.2L)}{(1)}$$

$$m = 8\text{ g}$$

Anexo A3

$$PPm\text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = \frac{(A)(B) \left(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3} \right) \left(\frac{1000\text{ microgramos}}{1\text{ mg}} \right)}{C} \dots \text{Ecuación (5)}$$

$$PPm\text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = \frac{(8.2\text{ ml})(0.01\text{ M}) \left(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3} \right) \left(\frac{1000\text{ microgramos}}{1\text{ mg}} \right)}{50\text{ml}}$$

$$PPm\text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = 164\text{ ppm}$$

donde:

A son los ml de EDTA gastados en la titulación en la muestra;

B es la Molaridad del EDTA

$\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3}$ es un factor de conversión

$\frac{1000\text{ microgramos}}{1\text{ mg}}$ es un factor de conversión

C son los ml de muestra.

Anexo A4

Dureza Total

Se sustituyeron los valores en Ecuación (5)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = \frac{(16 \text{ ml})(0.01 \text{ M})\left(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3}\right)\left(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}}\right)}{50\text{ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = 320 \text{ ppm}$$

Dureza Cálcica

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = \frac{(A)(B)\left(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3}\right)\left(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}}\right)}{C} \dots \text{Ecuación (6)}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = \frac{(0.66 \text{ ml})(0.01 \text{ M})\left(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3}\right)\left(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}}\right)}{50\text{ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = 13.2 \text{ ppm}$$

Dureza Magnésica

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = \text{Dureza total} - \text{Dureza Cálcica} \dots \text{Ecuación (7)}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 320 \text{ ppm} - 13.2 \text{ ppm}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 306.8 \text{ ppm}$$

Anexo A5

Dureza Total

Se substituyó en ecuación (5)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = \frac{(12.5 \text{ ml})(0.01 \text{ M})\left(\frac{100 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ mmol CaCO}_3}\right)\left(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}}\right)}{50 \text{ ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = 250 \text{ ppm}$$

Dureza cálcica

Se substituyó en ecuación (6)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = \frac{(2.66 \text{ ml})(0.01 \text{ M})\left(\frac{100 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ mmol CaCO}_3}\right)\left(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}}\right)}{50 \text{ ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = 53.2 \text{ ppm}$$

Dureza magnésica

Se substituyó en ecuación (7)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 250 \text{ ppm} - 63.2 \text{ ppm}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 186.8 \text{ ppm}$$

Anexo A6

Dureza Total

Los valores fueron sustituidos en la ecuación (5)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = \frac{(6.9 \text{ ml})(0.01 \text{ M})(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3})(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}})}{50\text{ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza total}) = 138 \text{ ppm}$$

Dureza cálcica

Se realizó la sustitución en ecuación (6)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = \frac{(1.6 \text{ ml})(0.01 \text{ M})(\frac{100\text{mg CaCO}_3}{1\text{mmol CaCO}_3})(\frac{1000 \text{ microgramos}}{1 \text{ mg}})}{50\text{ml}}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza cálcica}) = 32 \text{ ppm}$$

Dureza magnésica

Se sustituyó en ecuación (7)

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 138 \text{ ppm} - 32 \text{ ppm}$$

$$PPm \text{ CaCO}_3(\text{dureza magnésica}) = 106 \text{ ppm}$$

Anexo A7

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

Lecturas:

Tabla 7.1.7 Lecturas solidos sedimentables agua de la llave

Tiempo	Volumen [ml/L]
45 min	0.2
1 h	0.21
24 h	0.25

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

Lecturas:

Tabla 7.1.8 Lecturas solidos sedimentables agua que va a la caldera

Tiempo	Volumen [ml/L]
45 min	0.03
1 h	0.06
24 h	0.5

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

Lecturas:

Tabla 7.1.9 Lecturas solidos sedimentables filtro de arena

Tiempo	Volumen [ml/L]
45 min	0.3
1 h	0.8
24 h	1.4
48 h	3

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

Lecturas:

Tabla 7.2 Lecturas solidos sedimentables filtro de zeolitas

Tiempo	Volumen [ml/L]
45 min	0.02
1 h	0.03
24 h	0.05

Anexo A8

$$N = \frac{A}{(B)(53)} (1000) \dots \text{Ecuación (8)}$$

donde:

N es la normalidad del ácido usado, equivalentes/L

A son los gramos de carbonato de sodio

B son los ml de ácido utilizados

53 son los gramos por equivalente de carbonato de sodio

100 método de conversión

Tabla 7.2.1 Valoración del ácido clorhídrico

MUESTRA	ml DE HCl GASTADOS
1	25
2	24
3	26
PROMEDIO DE LA MUESTRA	25

Entonces:

$$N = \frac{0.0265g}{(25ml)(53 \text{ g/eq})} (1000)$$

$$N = 0.02 \text{ eq/L}$$

Anexo A9

$$N = \frac{A}{(B)(204.2)} (1000) \dots \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

N es la normalidad del hidróxido de sodio, equivalentes/L

A son los gramos de biftalato de potasio

B son los ml de hidróxido de sodio utilizados

204.2 son los gramos por equivalente de biftalato de potasio.

100 método de conversión

Tabla 7.2.2 Valoración del hidróxido de sodio

MUESTRA	ml DE NaOH GASTADOS
1	28.2
2	27.7
3	27.5
PROMEDIO DE LA MUESTRA	27.8

Entonces:

$$N = \frac{0.102g}{(27.8 \text{ ml})(204.2g/eq)} (1000)$$

$$N = 0.0179 \text{ eq/L}$$

Anexo A10

ACIDEZ

Calcular la acidez total como CaCO_3 en mg /L mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(A.B) - (C.D)](50)(1000)}{100} \dots \text{Ecuación (10)}$$

donde:

100 es el volumen de la muestra en ml

A es el volumen de NaOH utilizado al vire de la fenolftaleína

B es la normalidad de la disolución de NaOH

C son los ml de H_2SO_4 utilizados en el tratamiento con peróxido

D es la normalidad del H_2SO_4 utilizado

50 es el factor para convertir eq/L a mg CaCO_3 /L

1 000 es el factor para convertir ml a L.

No se utilizó las letras C y D por lo que no se realizó tratamiento con peróxido.

Se sustituyeron todos los valores de cada muestra en la ecuación (10)

MUESTRA DE AGUA DESTILADA pH7

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(0.3\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

MUESTRA DE AGUA DE GARRAFÓN pH7

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(0.3\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

MUESTRA DE AGUA POTABLE pH7

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(0.56\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 5.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

$$\text{Acidez total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(2.83\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 8.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(0.5\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(1.4\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 14 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{[(0.4\text{ml})(0.02N)](50)(1000)}{100}$$

$$\text{Acidéz total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Anexo A11

ALCALINIDAD

Calcular la alcalinidad total como CaCO_3 en mg /L, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(A \cdot N)}{100} (50)(1000) \dots \text{Ecuación (11)}$$

donde:

A es el volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en ml

N es la normalidad de la disolución de ácido

100 es el volumen de la muestra en ml

50 es el factor para convertir eq/L a mg CaCO_3 /L

1 000 es el factor para convertir ml a L.

Sustituyendo todos los valores de las muestras en la ecuación (11)

MUESTRA DE AGUA DESTILADA pH 7

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(7.06)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 70.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

MUESTRA DE AGUA DE GARRAFÓN pH 7

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(12.33)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 123.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

MUESTRA DE AGUA POTABLE pH 7

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(10.8)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 108 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA POTABLE DE LA LLAVE

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(28.83)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 288.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(23)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \mathbf{230 \frac{mg}{L}}$$

AGUA DEL FILTRO DE ARENA

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(17)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \mathbf{170 \frac{mg}{L}}$$

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{(15)(0.02 \text{ N})}{100} (50)(1000)$$

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \mathbf{150 \frac{mg}{L}}$$

Anexo A12

AGUA POTABLE DE LA LLAVE=pH 8

AGUA POTABLE QUE VA A LA CALDERA= pH 7.9

AGUA DEL FILTRO DE ARENA= pH 8.2

AGUA DEL FILTRO DE ZEOLITAS= pH 7.9

2) OBTENCIÓN DE LA VELOCIDAD E ISOTERMA DE ADSORCIÓN

Anexo B1

Para 0.25 N

$$v = 1 L$$

$$PM = 60.052 \frac{g}{mol}$$

$$eq = 1$$

$$\rho = 1.05 \frac{g}{cm^3}$$

$$N = 0.25$$

$$m = \frac{(0.25 N)(60.052 g/mol)(1L)}{(1)}$$

$$m = 15.013 g$$

$$V = \frac{15.013 g}{1.05 g/cm^3}$$

$$V = 14.298 ml$$

Para 0.5 N

$$v = 1 L$$

$$PM = 60.052 \frac{g}{mol}$$

$$eq = 1$$

$$\rho = 1.05 \frac{g}{cm^3}$$

$$N = 0.5$$

$$m = \frac{(0.5 N)(60.052 g/mol)(1L)}{(1)}$$

$$m = 30.026 g$$

$$V = \frac{30.026 g}{1.05 g/cm^3}$$

$$V = 28.596 ml$$

Anexo B2

$$V = 20 \text{ ml} = 0.02 \text{ L}$$

$$Cs = 0.25 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

Donde

V = volumen

Cs = concentración

PM = peso molecular

$(V)(Cs)(PM) \dots$ **Ecuación (13)**

$$0.02 \text{ L}(0.25 \text{ M}) = 0.005 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.3 \text{ g}}$$

Anexo B3

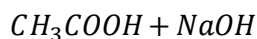
Matraz 1

$$V = 2 \text{ ml} = 0.002 \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.002 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 2 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{8 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 8 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.012 \text{ g}}$$

$$(\text{gr iniciales}) - (\text{gr posterior al filtrado}) \dots \mathbf{Ecuación (14)}$$

$$0.3 \text{ g} - 0.012 \text{ g} = \mathbf{0.288 \text{ g}}$$

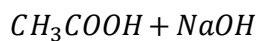
Matraz 2

$$V = 1.9 \text{ ml} = 0.0019 \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.0019 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 1.9 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{7.6 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 7.6 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0114 \text{ g}}$$

$$0.3 \text{ g} - 0.0114 \text{ g} = \mathbf{0.2886 \text{ g}}$$

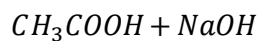
Matraz 3

$$V = 1.8 \text{ ml} = 0.0018 \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.0018 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 1.8 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{7.2 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 7.2 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0108\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.0108\text{ g} = \mathbf{0.2892\text{ g}}$$

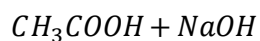
Matraz 4 y 5

$$V = 1.7\text{ ml} = 0.0017\text{ L}$$

$$Cs = 0.1\text{ N}$$

$$PM = 40\text{ g/mol}$$

$$0.0017\text{ L}(0.1\text{ N}) = 1.7 \times 10^{-4}\text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{6.8 \times 10^{-3}\text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 6.8 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0102\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.0102\text{ g} = \mathbf{0.2898\text{ g}}$$

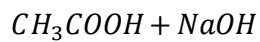
Matraz 6 y 7

$$V = 1.6\text{ ml} = 0.0016\text{ L}$$

$$Cs = 0.1\text{ N}$$

$$PM = 40\text{ g/mol}$$

$$0.0016\text{ L}(0.1\text{ N}) = 1.6 \times 10^{-4}\text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{6.4 \times 10^{-3}\text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 6.4 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0096\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.0096\text{ g} = \mathbf{0.2904\text{ g}}$$

Anexo B4

Matraz 1

$$V = 25 \text{ ml} = 0.025 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

Donde

$$V = \text{volumen}$$

$$C_{si} = \text{concentración inicial}$$

$$PM = \text{peso molecular}$$

$$C_{sf} = \text{concentración final}$$

$$0.025 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 0.0125 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.75 \text{ g}}$$

Anexo B5

$$V = 3.75 \text{ ml} = 3.75 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$3.75 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 3.75 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.015 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.015 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0225 \text{ g}}$$

$$0.75 \text{ g} - 0.0225 \text{ g} = \mathbf{0.7275 \text{ g}}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2 \dots \textbf{Ecuación (15)}$$

Donde

$C_1 = \text{Concentración inicial}$

$V_1 = \text{Volumen inicial}$

$C_2 = \text{Concentración final}$

$V_2 = \text{Volumen final}$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\therefore C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2} \dots \textbf{Ecuación (16)}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(25 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.5 \text{ M}}$$

Matraz 2

$$V = 20 \text{ ml} = 0.02 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.02 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 0.01 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.6 \text{ g}}$$

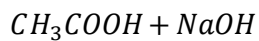
Hidróxido de Sodio

$$V = 6.75 \text{ ml} = 6.75 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$6.75 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 6.75 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.027 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.027 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0405 \text{ g}}$$

$$0.6 \text{ g} - 0.0405 \text{ g} = \mathbf{0.5595 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(20 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.4 \text{ M}}$$

Matraz 3

$$V = 15 \text{ ml} = 0.015 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.015 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.45 \text{ g}}$$

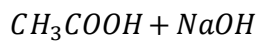
Hidróxido de Sodio

$$V = 12.5 \text{ ml} = 0.0125 \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.0125 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.05 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.05 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.075 \text{ g}}$$

$$0.45 \text{ g} - 0.075 \text{ g} = \mathbf{0.375 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(15 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.3 \text{ M}}$$

Matraz 4

$$V = 10 \text{ ml} = 0.01 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.01 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.3 \text{ g}}$$

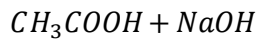
Hidróxido de Sodio

$$V = 8.1 \text{ ml} = 8.1 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$8.1 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 8.1 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0324 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0324 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0486 \text{ g}}$$

$$0.3 \text{ g} - 0.0486 \text{ g} = \mathbf{0.2514 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(10 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.2 \text{ M}}$$

Matraz 5

$$V = 7 \text{ ml} = 7 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$7 \times 10^{-3} \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 3.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.21 \text{ g}}$$

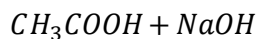
Hidróxido de Sodio

$$V = 5.8 \text{ ml} = 5.8 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$5.8 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 5.8 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0232 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0232 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0348 \text{ g}}$$

$$0.21 \text{ g} - 0.0348 \text{ g} = \mathbf{0.1752 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(7 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.14 \text{ M}}$$

Matraz 6

$$V = 3 \text{ ml} = 3 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$3 \times 10^{-3} \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.09 \text{ g}}$$

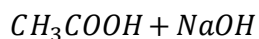
Hidróxido de Sodio

$$V = 2.5 \text{ ml} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$2.5 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 2.5 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.01 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.01 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.015 \text{ g}}$$

$$0.09 \text{ g} - 0.015 \text{ g} = \mathbf{0.075 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(3 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.06 \text{ M}}$$

Matraz 7

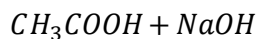
Hidróxido de Sodio

$$V = 0.5 \text{ ml} = 5 \times 10^{-4} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$5 \times 10^{-4} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 5 \times 10^{-5} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{2 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 2 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{3 \times 10^{-3} \text{ g}}$$

Anexo B6

$$V = 20 \text{ ml} = 0.02 \text{ L}$$

$$Cs = 0.25 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.02 \text{ L}(0.25 \text{ M}) = 0.005 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.3 \text{ g}}$$

Anexo B7

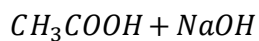
Matraz 1

$$V = 2.1 \text{ ml} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$2.1 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 2.1 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{8.4 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 8.4 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$$\therefore \mathbf{x = 0.0126 \text{ g}}$$

$$0.3 \text{ g} - 0.0126 \text{ g} = \mathbf{0.2874 \text{ g}}$$

Matraz 2 y 3

$$V = 2 \text{ ml} = 0.002 \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.002 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 2 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{8 \times 10^{-3} \text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 8 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.012\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.012\text{ g} = \mathbf{0.288\text{ g}}$$

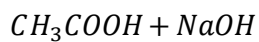
Matraz 4

$$V = 1.975\text{ ml} = 1.975 \times 10^{-3}\text{ L}$$

$$Cs = 0.1\text{ N}$$

$$PM = 40\text{ g/mol}$$

$$1.975 \times 10^{-3}\text{ L}(0.1\text{ N}) = 1.975 \times 10^{-4}\text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{7.9 \times 10^{-3}\text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 7.9 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.01185\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.01185\text{ g} = \mathbf{0.28815\text{ g}}$$

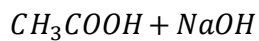
Matraz 5,6,7,8,9 y 10

$$V = 1.95\text{ ml} = 1.95 \times 10^{-3}\text{ L}$$

$$Cs = 0.1\text{ N}$$

$$PM = 40\text{ g/mol}$$

$$1.95 \times 10^{-3}\text{ L}(0.1\text{ N}) = 1.95 \times 10^{-4}\text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{7.8 \times 10^{-3}\text{ g}}$$



$$60\text{ g} \rightarrow 40\text{ g}$$

$$x \quad 7.8 \times 10^{-3}\text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0117\text{ g}}$$

$$0.3\text{ g} - 0.0117\text{ g} = \mathbf{0.2883\text{ g}}$$

Anexo B8

Matraz 1

$$V = 25 \text{ ml} = 0.025 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.025 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 0.0125 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.75 \text{ g}}$$

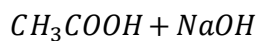
Anexo B9

$$V = 4.1 \text{ ml} = 4.1 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$4.1 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 4.1 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0164 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0164 \text{ g}$$

$$\therefore \mathbf{x = 0.0246 \text{ g}}$$

$$0.75 \text{ g} - 0.0246 \text{ g} = \mathbf{0.7254 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(25 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.5 \text{ M}}$$

Matraz 2

$$V = 20 \text{ ml} = 0.02 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.02 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 0.01 \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.6 \text{ g}}$$

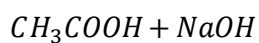
Hidróxido de Sodio

$$V = 7.3 \text{ ml} = 7.3 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$7.3 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 7.3 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0292 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0292 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0438 \text{ g}}$$

$$0.6 \text{ g} - 0.0438 \text{ g} = \mathbf{0.5562 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(20 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.4 \text{ M}}$$

Matraz 3

$$V = 15 \text{ ml} = 0.015 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.015 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 7.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.45 \text{ g}}$$

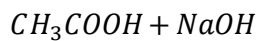
Hidróxido de Sodio

$$V = 14 \text{ ml} = 0.014 \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$0.014 \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 1.4 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.056 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.056 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.084 \text{ g}}$$

$$0.45 \text{ g} - 0.084 \text{ g} = \mathbf{0.366 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(15 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.3 \text{ M}}$$

Matraz 4

$$V = 10 \text{ ml} = 0.01 \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$0.01 \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.3 \text{ g}}$$

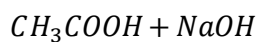
Hidróxido de Sodio

$$V = 9 \text{ ml} = 9 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$9 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 9 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.036 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.036 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.054 \text{ g}}$$

$$0.3 \text{ g} - 0.054 \text{ g} = \mathbf{0.246 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(10 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.2 \text{ M}}$$

Matraz 5

$$V = 7 \text{ ml} = 7 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$7 \times 10^{-3} \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 3.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.21 \text{ g}}$$

Hidróxido de Sodio

$$V = 6.3 \text{ ml} = 6.3 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$6.3 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 6.3 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0252 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0252 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0378 \text{ g}}$$

$$0.21 \text{ g} - 0.0378 \text{ g} = \mathbf{0.1722 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(7 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.14 \text{ M}}$$

Matraz 6

$$V = 3 \text{ ml} = 3 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_{si} = 0.5 \text{ M}$$

$$PM = 60 \text{ g/mol}$$

$$3 \times 10^{-3} \text{ L}(0.5 \text{ M}) = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mol} \left(60 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.09 \text{ g}}$$

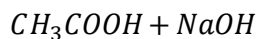
Hidróxido de Sodio

$$V = 2.55 \text{ ml} = 2.55 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$C_s = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$2.55 \times 10^{-3} \text{ L}(0.1 \text{ N}) = 2.55 \times 10^{-4} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{0.0102 \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 0.0102 \text{ g}$$

$$\therefore x = \mathbf{0.0153 \text{ g}}$$

$$0.09 \text{ g} - 0.0153 \text{ g} = \mathbf{0.0747 \text{ g}}$$

$$C_2 = \frac{(0.5 \text{ M})(3 \text{ ml})}{(25 \text{ ml})}$$

$$C_2 = C_{sf} = \mathbf{0.06 \text{ M}}$$

Matraz 7

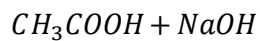
Hidróxido de Sodio

$$V = 0.1 \text{ ml} = 1 \times 10^{-4} \text{ L}$$

$$Cs = 0.1 \text{ N}$$

$$PM = 40 \text{ g/mol}$$

$$1 \times 10^{-4} \text{ L} (0.1 \text{ N}) = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \left(40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = \mathbf{4 \times 10^{-4} \text{ g}}$$



$$60 \text{ g} \rightarrow 40 \text{ g}$$

$$x \quad 4 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$\therefore \mathbf{x = 6 \times 10^{-4} \text{ g}}$$