

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis de la eficiencia de filtros a base de zeolita para la remoción de contaminantes en el agua proveniente de dos pozos de abastecimiento público en el Recinto Tres Postes, Cantón

Alfredo Baquerizo Moreno.

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Erick Brayan Burgos Mayorga
Douglas Marcelo Agudo Vences

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios, a nuestras familias y amigos por todo el apoyo brindado hasta el día de hoy y a quienes de alguna u otra manera nos brindaron su apoyo en esta ardua labor.

DEDICATORIA

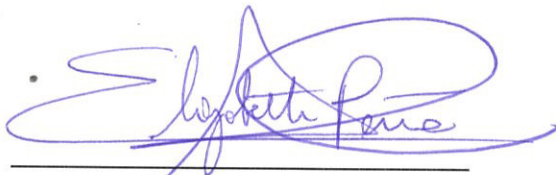
A DIOS

A NUESTRAS FAMILIAS

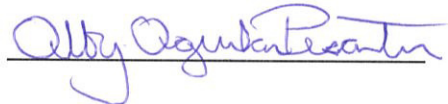
A NUESTROS AMIGOS

A NUESTROS PROFESORES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dra. Elizabeth Peña C.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



M.Sc. Alby Aguilar P.
DIRECTORA DE TESIS



Dr. Fernando Morante C.
VOCAL PRINCIPAL



Ing. Luis Zambrano
VOCAL ALTERNO

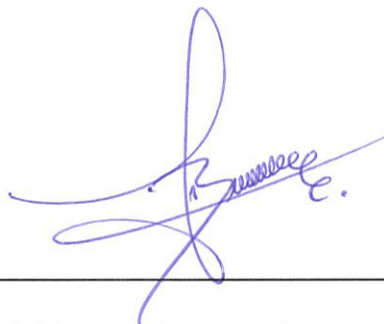
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y a través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la “ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Douglas Marcelo Agudo Vincés.



Erick Brayan Burgos Mayorga

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es la de proponer soluciones a una problemática que viven a diario los habitantes del Recinto Tres Postes. La investigación consiste en determinar la eficiencia de la zeolita en la remoción de contaminantes presentes en el agua de dos pozos de abastecimiento público del Recinto. Durante todo el proceso investigativo se recopiló información con la cual se ha desarrollado esta investigación.

El Recinto pertenece al cantón Alfredo Baquerizo Moreno aunque actualmente el cantón tiene problemas limítrofes con el cantón Yaguachi. El 95% de la zona urbana cuenta con una red de distribución, la cual es abastecida por 5 pozos y mediante el uso de bombas es almacenada en tanques para luego abastecer a las viviendas.

Para determinar la eficiencia de la zeolita en remover dureza y manganeso se realizó tres filtros de diferentes alturas, donde el material zeolítico tenía la misma granulometría. Luego se realizó las corridas hasta lograr resultados favorables con los cuales se pudo concluir que la eficiencia del filtro fue el esperado ya que se removió manganeso en un 83% aproximadamente y dureza hasta un 47%.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURA.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XV
INDICE DE MAPAS.....	XVII
INDICE DE FIGURAS.....	XVII
INDICE DE TABLAS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	1
ANEXO I – Resultados de laboratorio de Químicos Marcos.....	213
ANEXO II – Datos registrados en laboratorio ICQA (ESPOL).....	231
ANEXO III – Aplicación del lenguaje matemático MATLAB versión 7.6.0324 (R2008a).....	240
ANEXO IV – Fotos.....	242
BIBLIOGRAFÍA.....	255
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Antecedentes.	7
1.2.1. Aspectos Generales del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan). .	7
1.2.2. Situación Geográfica.....	8
1.2.3. Superficie y Población.	9
1.2.4. Clima.....	15
1.2.5. Ubicación del Recinto Tres Postes, lugar de estudio.....	15
1.2.6. Captación de agua en el área urbana del cantón Jujan.....	18

1.2.7. Salud.....	19
1.2.8. Pozo Central Las Lomas perteneciente a la cabecera cantonal, Jujan.....	21
1.2.9. Planteamiento del problema.	25
1.3. Justificación.	33
1.4. Objetivos.	35
1.4.1. Objetivo general.....	35
1.4.2. Objetivos específicos.	35
CAPÍTULO 2.....	36
2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN.....	36
2.1. El ciclo hidrológico.	36
2.2. Aguas subterráneas.	43
2.3. Red de flujo de agua subterránea.	45
2.4. Definición de acuíferos y aplicación de pozos.	48
2.5. Clasificación de los acuíferos según sus características hidrogeológicas.....	49
2.6. Tipos de acuíferos según la textura que presenta la formación.	51
2.7. Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico.	51
2.8. Métodos de investigación y/o explotación de aguas subterráneas.	54
2.8.1. Exploración Geofísica: Método de Resistividad Eléctrica.	56
2.8.2. Captación de Aguas Subterráneas: Perforación de Pozos y Sondeos.....	61
2.9. Recursos Hídricos.....	67
2.10. Recursos hídricos en el Ecuador.	71
2.11. Recursos hídricos en el Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).	74
2.12. Componentes mineralógicos del agua subterránea.....	76
2.13. Contaminación del agua.	80

2.14.	Contaminantes Orgánicos e Inorgánicos.....	83
2.14.1.	Contaminación orgánica del agua.....	83
2.14.2.	Contaminación Inorgánica del agua.....	85
2.15.	Tipos de contaminación del agua.....	86
2.15.1.	Contaminación puntual.....	86
2.15.2.	Contaminación difusa.....	87
2.16.	Causas más comunes de contaminación.....	89
2.17.	Contaminación del agua por la agricultura.....	90
2.18.	Medida de elementos disueltos en el agua.....	96
2.19.	Calidad del agua.....	97
2.20.	Normas de calidad del agua.....	99
2.21.	Factores que determinan la calidad del agua.....	99
2.21.1.	Factores Físicos - Químicos.....	99
2.21.2.	Factores biológicos o bacteriológicos.....	104
2.22.	Criterios de calidad en aguas subterráneas.....	105
2.22.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	106
2.22.2.	Medición del pH.....	106
2.22.3.	Dureza total.....	107
2.22.4.	Sólidos totales disueltos.....	109
2.22.5.	Medición de Hierro.....	110
2.22.6.	Medición de manganeso.....	111
2.22.7.	Nitratos.....	112
2.22.8.	Arsénico.....	113
2.22.9.	Compuestos Organoclorados (OC).....	114
2.22.10.	Compuestos organofosforados (OP).....	117
2.23.	Origen y definición de la Zeolita.....	119

2.24.	Zeolitas en el Ecuador.	121
2.25.	Usos de la Zeolita.	122
2.26.	Composición y estructura de la zeolita.	124
2.27.	Propiedades de la zeolita.....	128
2.27.1.	Adsorción.....	128
2.27.2.	Intercambio iónico.	131
2.28.	La zeolita y su efecto en la Salud.	134
2.29.	Aplicación de la zeolita como medio filtrante.	136
2.30.	Tipos de adsorción.	138
2.31.	Isoterma de Equilibrio.	139
2.32.	Modelo de concentración en un lecho fijo.....	142
2.33.	Planteamiento del modelo conceptual de una columna de adsorción de lecho fijo.....	143
2.34.	Modelo matemático.....	148
	CAPÍTULO 3.....	155
3.	TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGIA.	155
3.1.	Levantamiento de información existente.....	155
3.2.	Metodología de muestreo.	160
3.3.	Procesos para el control de calidad de agua en campo.....	163
3.4.	Descripción del material utilizado en el filtro.	164
3.5.	Diseño del medio filtrante.....	165
3.5.1.	Componentes.	167
3.5.2.	Funcionamiento.	168
3.6.	Proceso de armado del medio filtrante.....	168
3.7.	Metodología aplicada para los análisis de la dureza en el agua del Pozo Vargas Torres.	174

3.8. Técnicas aplicadas para la remoción del manganeso.....	177
3.9. Metodología aplicada para los análisis de manganeso en el agua de Pozo Vargas Torres.	178
3.10. Experimentación con filtros de zeolita.	181
CAPÍTULO 4.....	184
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	184
4.1. Estimación de caudal.	185
4.2. Resultados y análisis de dureza.....	187
4.3. Resultados y análisis de Manganeso.....	194
4.4. Aproximación numérica del modelo conceptual de la columna de adsorción.	200
CAPÍTULO 5.....	206
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	206
5.1. Conclusiones.....	206
5.2. Recomendaciones.	209

ABREVIATURA

OMS	Organización Mundial de la Salud
M.S.P	MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA
INEC	El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
OPS	Organización Panamericana de la Salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
FBI	Flota Babahoyo Interprovincial
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
UTM	Universal Transverse Mercator
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente
IEOS	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias
ISO	International Organization for Standardization
ASTM	American Society for Testing Materials
ICQA	Instituto de ciencias químicas y ambientales
STD	Sólidos Totales Disueltos
OC	Compuestos Organoclorados
DDT	diclorodifeniltricloroetano
HCH	hexaclorociclohexano
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid

C _o	Contaminante Inicial
C _f	Contaminante final
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Fe	Hierro
Na	Sodio
K	Potasio
Cl	Cloruros
Br	Bromuros
F	Fluoruros
Al	Aluminio
Ti	Titanio
Co	Cobalto
Cu	Cobre
Pb	Plomo
Ni	Níquel
Cr	Cromo
Sr	Estroncio
Li	Litio
Zn	Zinc
NH ₄	Amoniaco
SO ₄	Sulfatos
NO ₃	Nitratos
NO ₂	Nitritos

HCO_3	Bicarbonatos
CO_2	dióxido de Carbono
CO_3	Carbonatos
O_2	Oxigeno Diatómico
OH	Hidróxido
SiO_2	Dióxido de Silicio
KMnO_4	Permanganato de potasio
K_2MnO_4	Manganato de potasio
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Aluminio
$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Hipoclorito de Calcio
SiO_4^{4-}	Ortosilicato
AlO_3	Trióxido de aluminio
NO_3	Trióxido de nitrógeno
CaCO_3	Carbonato de calcio
S	Sur
W	Oeste

SIMBOLOGÍA

m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
ppm	Partes por millón
Km	Kilómetros
ha	Hectárea
m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Km ²	Kilómetros cuadrados
Km ³	Kilómetros cúbicos
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
m N	Metros con respecto al Norte
m E	Metros con respecto al Este
Kg	Kilogramos
gr	Gramos
°C	Grados Celsius
l/seg	Litros por segundo
mg/l	Miligramos por litro
mg/Kg	Miligramos por kilogramo
mg/g	Miligramos por gramo
HP	Caballos de fuerza
ml	Mililitro

gr/cm^3	Gramo por centímetro cúbico
N/m^3	Newton por metros cúbicos
N/m^2	Newton por metro cuadrado
m/día	Metros por día
ohm-cm.	Ohmio por centímetro
$\text{Km}^3/\text{año}$	Kilómetro cubico por año
$\text{m}^3/\text{ha/año}$	Metros cúbicos por hectárea por año
$\text{Hm}^3/\text{año}$	Hectómetro cúbico por año
l/hab/día	Litros por habitante por día
mgO_2/l	Miligramos de oxígeno diatómico por litro
nm	Nanómetros
m^2/g	Metros cuadrados por gramo
$\text{Pie}^2/\text{pie}^3$	Pie cuadrado por pie cúbico
mg/dm^3	Miligramos por decímetro cúbicos

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: División Política de la Provincia del Guayas (INEC, 2011).....	8
Mapa 2: Límites del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	9
Mapa 3: Apreciación entre líneas divisorias de límites territoriales entre Yaguachi y Jujan (Google Earth, 2015).....	12
Mapa 4: Ruta a elegir para llegar al Recinto Tres Postes, vía Guayaquil-Babahoyo (Google Earth, 2015).....	16
Mapa 5: Polígono y Puntos aproximados del Contorno del Recinto Tres Postes (Google Earth, 2015).....	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación Gráfica de Habitantes en el Cantón Jujan	13
Figura 2: Representación Gráfica en Porcentajes según el tipo de vivienda	14
Figura 3: A la izquierda tenemos al Sr. Juan Villamar explica el proceso que se lleva para la potabilización del agua (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	22
Figura 4: Entrada del Agua Cruda a la Planta Paquete mediante la manguera de color negro que se puede notar en la fotografía (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	23
Figura 5: Punto de Dosificación del Cloro y Filtración de Agua (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	23
Figura 6: Control de Dosificación de Hipoclorito de calcio (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	24
Figura 7: Pozo de Abastecimiento Público El Paraíso, inspección de aspectos básicos en la boca del pozo. Se puede observar presencia de viviendas cerca del pozo (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).....	27

Figura 8: Fotografía tomada luego de la reanudación de abastecimiento del agua, debido a un corte de energía eléctrica (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).	28
Figura 9: Reservorio de agua de 250 m ³ , Pozo de Abastecimiento Público El Paraíso.	30
Figura 10: Castillo de 100 m ³ de capacidad, Inicialmente diseñado para una población de 1500 habitantes.	30
Figura 11: Pozo de Abastecimiento Público del Sector Vargas Torres.	32
Figura 12: Plantación de Caña de Azúcar, propiedad del Ingenio Valdez.	32
Figura 13: Descripción gráfica del flujo de agua en 10 ¹² m ³ por año en el Ciclo Hidrológico (Marshall, 2014).	37
Figura 14: Infiltración - Zona de Suelo (U. S. Geological Survey, 2014).	40
Figura 15: Representación gráfica de un río efluente; Flujo de agua desde el acuífero hacia el río (Acuifers, 2011).	44
Figura 16: Representación gráfica de río influente; el río aporta agua al acuífero libre (gidahatari, 2013).	44
Figura 17: Zonas de recargas de un acuífero (UCM, 2006).	45
Figura 18: Comportamiento de diferentes tipos de pozos según el potencial hidráulico. Explicación esquemática cuando se da un pozo artesiano debido a la carga hidráulica con respecto a su línea de energía dada por la línea entre punteada (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).	46
Figura 19: Cono de influencia al bombear un pozo de captación	48
Figura 20: Acuífero Libre (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).	52
Figura 21: Acuíferos Cautivos o Confinados (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).	53
Figura 22: Representación gráfica de los tipos de acuíferos	54
Figura 23: Flujo de corriente radial que surge de un electrodo A.	56
Figura 24: Cambio de las líneas de flujo debido al electrodo B	57
Figura 25: Se muestra un esquema de los métodos Schlumberger (arriba) y Wenner (abajo), donde el $\Delta V = \Delta U$ (Møller, Sørensen, & Auken, 2008).	59
Figura 26: Diferencias entre Pozos y Sondeos (Herrera & Castilla, 2012).	62

Figura 27: Modelo esquemático del proceso de captación de agua (Herrera & Castilla, 2012).	62
Figura 28: Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), toma de datos en campo.	63
Figura 29: Limpieza y afloración de un pozo de agua terminado de 100 metros	64
Figura 30: Perforación de un pozo de 10 pulgadas de diámetro.	66
Figura 31: Ciclo de utilización de las aguas subterráneas (BRIÈRE, 2005). 70	
Figura 32: Representación gráfica de zona inundable en el Cantón.....	75
Figura 33: Una representación simplificada de una pluma contaminante. El transporte de la contaminación de una fuente puntual de las aguas subterráneas puede causar contaminación de aguas superficiales, así como una extensiva contaminación de las aguas subterráneas (LaBaugh, 2009).	82
Figura 34: Contaminación de diferentes tipos de acuíferos por la actividad humana siendo una de las principales causas la percolación (Vera, 2012).	87
Figura 35: (a) TO_4 Tetraedro; (b) TO_4 tetraedros que comparten una esquina	124
Figura 36: Esquema de la estructura de la zeolita. Construcción de una jaula de sodalita y de tres topologías diferentes estructuras que contienen esta unidad de construcción (Martínez & Corma, 2013).	125
Figura 37: Representación gráfica de algunas isothermas típicas.....	140
Figura 38: Curva de ruptura en la adsorción de un lecho fijo (McCabe, Smith, & Harriott, 1998).	143
Figura 39: Esquema de la transferencia de materia a través de las partículas del lecho fijo (Rivero Martínez, 2002).	146
Figura 40: Balance de masa en una sección de la columna (Menacho Solà-Morales, 2012).	149
Figura 41: Pozo Vargas Torres presenta concentraciones de parámetros que no cumplen con las normas consideradas en la investigación.	155
Figura 42: Toma de muestras en el pozo El Paraíso por parte del representante de la empresa Químicos Marcos.....	157

Figura 43: Previo a la toma de muestra según la metodología de Químico Marcos, el agua se deja fluir por 5 minutos previo a la toma de muestras.....	157
Figura 44: Equipos empleados para la toma de muestras en los cuales están el pH-metro, Gps, termómetro y una pizarra en la cual se especifica la fecha en la cual se da el muestreo.....	160
Figura 45: Medición de la temperatura y pH, Previo a la toma de muestra, en el pozo denominado “El Paraíso”.....	164
Figura 46: Material Zeolítico mezclado con diferentes granulometrías.	165
Figura 47: Material implementado para el armado de los tres filtros.....	167
Figura 48: Tamices empleados para la clasificación del material y eliminación de impurezas volátiles, previo al lavado.	169
Figura 49: Lavado del material zeolítico con presencia de impurezas suspendidas.	170
Figura 50: Material zeolítico previo al lavado y después del lavado.	170
Figura 51: Zeolita correspondiente al retenido en la malla #16 y malla #20, previo al proceso de secado.....	171
Figura 52: Material colocado en el horno a una temperatura constante. ...	171
Figura 53: Columnas adaptadas a la madera de plywood mediante las grapas, con la finalidad de mantenerlos vertical durante los procesos de filtración.....	172
Figura 54: Equipos y soluciones empleados para los análisis de las muestras.....	175
Figura 55: Análisis de la concentración de la dureza, previo a la titulación y después de la misma.	177
Figura 56: Equipos y reactivos implementados para el desarrollo del análisis de manganeso.....	178
Figura 57: Muestras con los reactivos, previo a la medición en el Espectrofotómetro (Equipo de medición de concentración de Manganeso).	180
Figura 58: Gráfica de variación de caudales según el filtro empleado, para un volumen que parte de 30 ml a 250 ml.	186

Figura 59: Resultados promedios de las concentraciones finales e inicial.	188
Figura 60: Comparación de los filtros para determinar el más eficiente. ...	189
Figura 61: Comparación de los porcentajes removidos de dureza.	190
Figura 62: Resultados, expresados en porcentajes correspondientes a las corridas realizadas en el filtro #2.	191
Figura 63: Comparación de concentraciones iniciales y finales.	192
Figura 64: Resultados de las concentraciones finales e iniciales.	195
Figura 65: Comparación de los porcentajes removidos.	196
Figura 66: Comparación de los porcentajes removidos.	197
Figura 67: Porcentajes correspondientes a las corridas realizadas en el filtro #2.	198
Figura 68: Comparación de concentraciones iniciales y finales.	199
Figura 69: Aplicación del Método de discretización (Método de diferencias finitas).	201
Figura 70: El enmallado discreto y el punto para el cálculo computacional para la ecuación [Ec. 11]. (Logan, 2013).	202
Figura 71: Representación gráfica del desarrollo de una curva de ruptura mostrando el movimiento de la zona de transferencia de masa.	205

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Recintos que conforman el Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).	10
Tabla II: Población Estimada en el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEC).	12
Tabla III: Número y Representación en porcentajes de Viviendas del Cantón Jujan según el tipo.	13
Tabla IV: Coordenadas de la extensión territorial poblada del Recinto Tres Postes.	17

Tabla V: Causas de morbilidad; medicina general Cantón Alfredo Baquerizo Moreno.	20
Tabla VI: Estimación de distribución global del Agua.	42
Tabla VII: Formaciones hidrogeológicas.	50
Tabla VIII: Valores representativos de resistividad. Los valores son representados en unidades de 10^3 ohm-cm.	60
Tabla IX: Vertientes en el Ecuador.	74
Tabla X: Zona inundable en Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).	75
Tabla XI: Materiales solubles en los suministros acuíferos.	88
Tabla XII: Clasificación de los plaguicidas según la naturaleza química.	92
Tabla XIII: Clasificación del uso de tierras Cantón Alfredo Baquerizo Moreno.	93
Tabla XIV: Efectos a la salud humana debido a la exposición con ciertos contaminantes presentes en el agua potable.	95
Tabla XV: Calidad del agua por concentración de constituyentes químicos.	109
Tabla XVI: Clasificación de plaguicidas según el grado de toxicidad.	115
Tabla XVII: Tipos de zeolitas que se forman a distintas temperaturas.	127
Tabla XVIII: Diferencias entre adsorción física y adsorción química.	139
Tabla XIX: Comparación de los parámetros analizados en el pozo El Paraíso.	158
Tabla XX: Comparación de los parámetros analizados en el pozo Vargas Torres.	159
Tabla XXI: Volumen de muestra.	162
Tabla XXII: Clasificación de filtros rápidos.	166
Tabla XXIII: Comparación de los porcentajes retenidos de los tres filtros.	173
Tabla XXIV: Rangos de concentración y selección de muestra.	174
Tabla XXV: Tiempos estimados en segundos.	182
Tabla XXVI: Densidades aparentes en gr/cm^3	183

Tabla XXVII: Caudales de salida estimados en los filtros (ml/s).....	185
Tabla XXVIII: Caudales promedios en ml/s.....	187
Tabla XXIX: Resultados de los análisis de dureza en la primera corrida por los tres filtros.	187
Tabla XXX: Porcentajes de remoción de los filtros.....	189
Tabla XXXI: Resultados de los análisis de dureza realizado en el filtro más eficiente.....	191
Tabla XXXII: Concentraciones estándar para la interpretación del agua subterránea.	193
Tabla XXXIII: Resultados de los análisis de Manganeso en la primera corrida.	195
Tabla XXXIV: Porcentajes de remoción de los filtros.	196
Tabla XXXV: Resultados de los análisis de manganeso realizado en el filtro más eficiente.	198
Tabla XXXVI: Datos geométricos y físicos empleados para determinar el comportamiento del filtro.	204

CAPÍTULO 1.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Introducción.

El agua es un elemento ampliamente utilizado de distintas maneras. Por esta razón el abastecimiento de este líquido debe ser seguro para los habitantes, debido a que la mayoría de los problemas de salud están relacionados con la calidad del agua. (Álvarez & Nadal, 2012).

El agua subterránea suele ser la principal fuente de agua potable para el consumo humano, teniendo una baja concentración de minerales (Visscher, Paramasivam, Raman, & Heijnen, 1992). Sin embargo, los componentes minerales varían de acuerdo a la interacción del agua y el medio en la que ésta se desplaza, pudiéndose determinar únicamente con ensayos de laboratorio (IGME: Porras, y otros, 1985). Por lo general el agua subterránea presenta una baja contaminación bacteriana y viral

cuando ésta ha sido filtrada o permanecido por mucho tiempo bajo el suelo (Brière, F.G., 2005). Sin embargo, es posible encontrar microorganismos patógenos inclusive parásitos zoonóticos que indican contaminación fecal ya sea de origen animal y/o humana que han logrado infiltrarse a través del suelo por medio de fuentes superficiales conectadas a los acuíferos (Olivas Enríquez, Márgee, & Otros, 2013).

En las últimas décadas la actividad humana ha contribuido a la acelerada degradación de la calidad del agua subterránea. En tratamiento de aguas superficiales resulta ser mucho más fácil remover sus contaminantes, a diferencia del agua subterránea que es un problema que amerita un mayor nivel de estudio científico con elevados costos, a largo plazo y la remoción de sus contaminantes resultan más difíciles de remover (Baird, 2001). La apreciación y el interés de las personas ante la agravante reducción de calidad de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos es algo reciente a nivel mundial y en particular, Latinoamérica (Vargas, 2002).

La principal fuente de contaminación de las aguas subterráneas es la aplicación excesiva de productos agroquímicos, seguido de la contaminación por ganadería. Los contaminantes más importantes que se pueden detectar son de origen agrícola y ganadera afectando en gran medida a las zonas costeras (Galvan & Beneyto, 2009). De igual

forma, el gran número de fosas sépticas que existen, son una fuente importante de generación de nitratos, bacterias y virus (Baird, 2001).

La utilización de aguas contaminadas es la causa más importante de mortalidad a nivel mundial (Galvan & Beneyto, 2009). Según la OMS (organización mundial de la salud), aproximadamente 3 millones y medio de personas, en su mayoría niños, mueren a causa de enfermedades relacionadas con estas aguas, enfermedades tales como la malaria, anemia, diarrea, parásitos, hepatitis A, cólera, entre otras (M.S.P., 2012).

La generación de enfermedades con síntomas diarreicos va aproximadamente en un 88%, debido a las deplorables condiciones de abastecimiento de agua sin ningún tipo de tratamiento, saneamiento e higiene (Castillo, y otros, 2010). Esto generalmente ocurre en sistemas potables públicos y privados, los cuales se abastecen tanto de aguas subterráneas y superficiales (lluvia, ríos, lagos, etc.), que pueden estar contaminadas por los restos de animales infectados o personas (LENNTECH, 2015).

Aproximadamente un 43% de la población rural en Latinoamérica y el Caribe no cuenta con el abastecimiento adecuado de agua con calidad para el consumo humano, la higiene personal y otros uso domésticos, de manera que los más afectados son niños menores a 5 años que aún no tienen su sistema inmunológico desarrollado (Aurazo de Zumaeta, 2004). Además se estima que solo en América latina, las diarreas por beber

agua contaminada causan la muerte de 100.000 niños por año (Álvarez & Nadal, 2012).

El uso de sistemas complejos para el tratamiento de este líquido vital, han resultado costosos y en muchos de los casos éstos no son eficientes. Posiblemente debido a la falta de mano calificada, uso inadecuado del equipo, falta de recursos económicos para la compra de repuestos y el mantenimiento de los equipos (Visscher, Paramasivam, Raman, & Heijnen, 1992).

Es importante el análisis de calidad de agua subterránea sobre todo si estos son pozos de abastecimiento público ya que puede haber la presencia de gases en grandes concentraciones, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos (CLARA, 2005), comúnmente presentes como Coliformes totales. Procesos tales como almacenamiento, sedimentación, coagulación, floculación, filtración, reducen en el contenido bacteriológico del agua. Como proceso final la desinfección se encarga de la destrucción o la desactivación completa de los microorganismos dañinos (CEPIS, 1988).

La eliminación de metales pesados presentes en medios acuáticos tales como Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), etcétera. Así como también la eliminación de compuestos orgánicos, han

desarrollado diferentes tipos de tecnologías como precipitación química, intercambio iónico, adsorción, precipitación electroquímica, filtración por membranas, ósmosis inversa, extracción por solventes, electrocoagulación, evaporación, extracción y quelación. La remoción por adsorción ha demostrado ser uno de los métodos más eficaces en la remoción de metales pesados (Lugo, Fiallo, & Alberto, 2013).

En la actualidad la zeolita es ampliamente usada de diferentes maneras tal como fertilizante al pre mezclarse con compuestos de amonio y fosfatos. Usadas también para control de olores, alimentación animal, aplicaciones de limpieza, tratamiento de aguas residuales y agua potable (Virta, 2002). En Ecuador podrían ser usadas para la purificación de aguas residuales generadas en ciudades como Guayaquil. También para el desarrollo de cementos puzolánicos de bajo costo y como fertilizantes en las plantaciones de café y banano; (Machiels, y otros, 2008).

El uso de la zeolita como lecho filtrante aparece hoy en día como una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas; tienen muchas ventajas en comparación de con sistemas convencionales, tal como el bajo costo de inversión, el bajo costo de operación y mantenimiento. Su aplicación en el tratamiento de aguas residuales como en el de agua potable se ha hecho muy popular en la remoción de materia orgánica y nitrógeno (Stefanakis & Tsihrintzis, 2012).

Según el Censo Nacional del 2010 indica que el 79% del agua potable la recibe por red pública en áreas urbanas, mientras que en áreas rurales solo lo recibe el 46%. El consumo de agua potable en porcentajes está dado de la siguiente manera: 40% de la población hierve el agua, 3% le agrega cloro, y el 1.3% la filtra antes de beberla. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) establece que el 33% de la población bebe agua tal como llega a su vivienda (Organización Panamericana de la Salud, 2013). No obstante la realidad del Recinto Tres Postes no es diferente.

En el presente estudio se realizará una investigación de la calidad de agua que se distribuye a la población del Recinto Tres Postes proveniente de dos pozos de abastecimiento público. El cual tiene como objetivo determinar los contaminantes más relevantes que puedan poner en riesgo la salud de los habitantes a largo plazo; mediante análisis de laboratorios debidamente avalados a nivel nacional, Ecuador. Posteriormente se realizará el diseño de 3 filtros a base de Zeolita con diferentes espesores, esto es, para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes por cada filtro. Determinando así, cuál de los 3 filtros es el más eficiente en la remoción de estos contaminantes y, de ser posible proyectarlo como solución de bajo costo, seguro y eficiente para su aplicación.

1.2. Antecedentes.

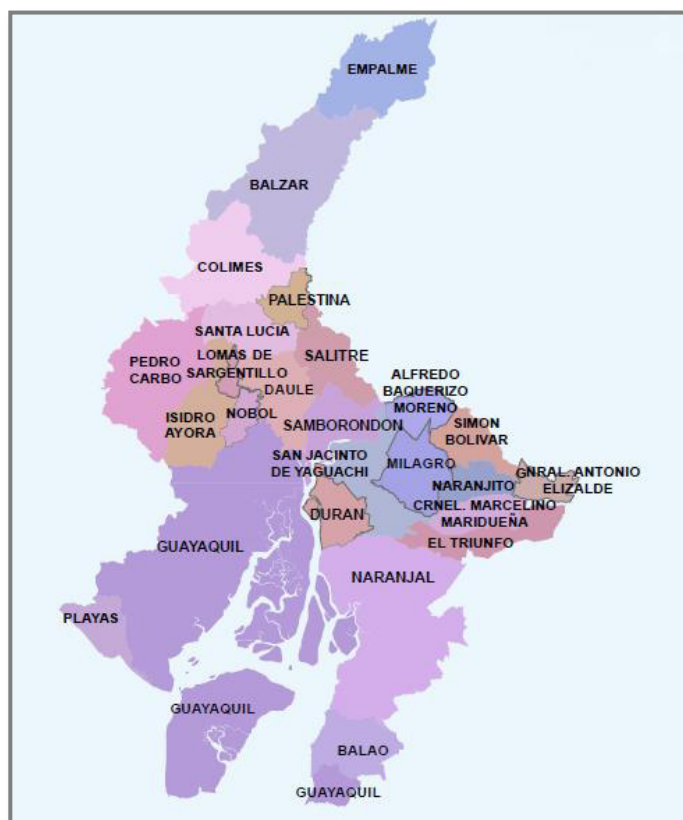
1.2.1. Aspectos Generales del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).

El Cantón Jujan fue fundado el 29 de mayo de 1986, mediante el Decreto de Ley N°030, publicado en el Registro Oficial N° 438 el 19 de mayo del mismo año. En la administración del Sr. Ing. León Febres Cordero, Presidente de la República del Ecuador. Su nombre “Jujan” proviene de una inmensa cantidad de árboles llamados Jujanillos que existían en el territorio del cantón, actualmente se encuentran en peligro de extinción.

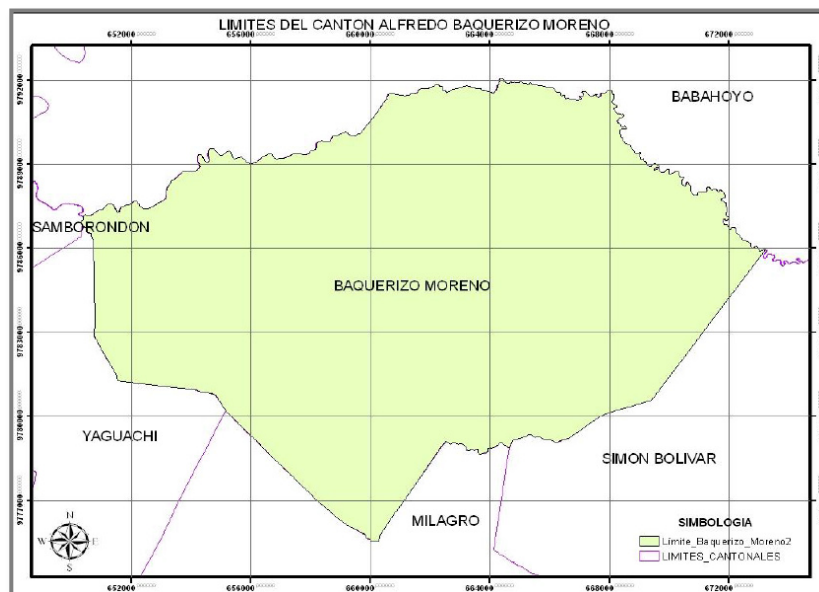
Destaca por su principal actividad económica que contribuye en un 70% de su producción, la agricultura, cultivos de ciclos cortos y perennes tradicionales; Jujan es uno de los principales productores de arroz, cacao, banano y frutas tropicales. Así como también destaca su gastronomía que tiene una gran demanda de cantones cercanos. Además el cantón cuenta con una vía principal de acceso, llamada Panamericana Sur que une a la provincia de los Ríos y Guayas. Ésta misma vía se comunica con el Norte y Sur de la Región Interandina. Uno de los buses que cruza el cantón, es la Flota Babahoyo Interprovincial (FBI), el tiempo de viaje estimado de llegada desde Guayaquil es de 53 minutos.

1.2.2. Situación Geográfica.

Constituye uno de los 25 cantones de la Provincias del Guayas, ubicado al Noroeste de la Provincia, en la región Centro Sur del Ecuador, a 1°52'35 Latitud sur; el punto sur a 2°1'38 de latitud sur; el punto este a 79°26' de longitud occidental; y el punto oeste a 79°38' de longitud occidental. A 60 km de Guayaquil, con elevación de 9 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con la Provincia de los Ríos, al Sur con el Cantón Milagro, al Este con el cantón Simón Bolívar y al Oeste con los Cantones Samborondón y Yaguachi (Ver Mapa 1 y 2).



Mapa 1: División Política de la Provincia del Guayas (INEC, 2011).



Mapa 2: Límites del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno
(GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

1.2.3. Superficie y Población.

El territorio se caracteriza por la presencia de leves ondulaciones, con pendientes dominantes de máximo 5% y desnivel menor a los 3 m, presentando terreno apto para el uso agrícola.

El cantón Alfredo Baquerizo Moreno tiene una superficie total de 22.249,06 hectáreas (222,49 km²), de las cuales el 99,02% del territorio del cantón Jujan representa el sistema productivo y el 0,98% restante a los centros poblacionales, ríos dobles, áreas naturales e infraestructuras. El cantón está conformado por 61 Recintos (Ver Tabla I) y una cabecera cantonal que tiene el mismo nombre, Jujan; siendo el Recinto Tres Postes (Lugar de Investigación) uno de los principales recintos más sobresalientes del cantón.

Tabla I: Recintos que conforman el Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).

ITEM – Recintos	
Rancho de Piedra 1	Dos Bocas
Rancho de Piedra 2	5 de Julio
La Reveza	El Convento
Recreo San Pedro (mango)	La Cabaña
San Juan Poco a Poco	Los Chijos
San Antonio	Chongonal
San Agustín Chilintomo	Dos Puertas
San José de la Parroquia	Fruta de Pan
Samán Cuatro Camino	Libertad de la Beldaca
San José de las Mercedes	La Ilusión Javilla
La Semira	Loma Peleada
El Tillo	Los Juncos
El Transito	Loma de Ñauza
El Tigrillo	Manuel Woolf
Tamarindo	Mamanica
Tres Postes	Mata de Caña
La Toquilla	Las Mercedes
Unión de los Ramos	La Moraima
Villa Mercedes	El Niguito
La Aurora	El Otoño
24 de Mayo	Pajonal Norte
Zanja 1	Pajonal Sur
Zanja 2	Pajonal Central
Achiote	La Palma
Almendro	La Providencia
Bella Luz	La Porfía
Adelaida de Plana	La Rinconada

Boca de Ñauza	La Represa
Buenos Aires	La Libertad
Las Boyas	La Otilia
El Guayabito	
Fuente: (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).	

Actualmente el cantón Jujan tiene problemas limítrofes con el cantón Yaguachi por el Recinto Tres Postes (Ver Mapa 3). El Cantón Yaguachi atribuye que su límite territorial de aproximadamente 2.5 km de longitud, divide al Recinto en dos partes, el cual está en la calle principal (Centro de Tres Postes). Por parte del cantón Jujan alegan que su límite territorial llega hasta el estero llamado Poza de Pato, es decir, Tres Postes pertenecería netamente al Catón Jujan. Debido a estos problemas, el Recinto está imposibilitado al derecho de ser Parroquia.

Coordenadas UTM 17 M:

- Centro de Tres Postes (Yaguachi alega que su límite territorial llega a la calle principal de Tres Postes):
655168.77 m E 9780216.49 m N
- Estero Poza de Pato (Jujan alega que el límite territorial entre Jujan y Yaguachi llega al estero Poza de Pato):
654051.59 m E 9777942.41 m N



Mapa 3: *Apreciación entre líneas divisorias de límites territoriales entre Yaguachi y Jujan (Google Earth, 2015).*

De acuerdo al Censo poblacional y vivienda 2010 (INEC), la población global estimada del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan) es de 25.179 habitantes. En el área urbana la población corresponde a 8.343 habitantes: 4.207 son hombres y 4.136 son Mujeres; en el área rural la población corresponde a 16.863 habitantes: 8.806 hombres y 8.030 son Mujeres (Ver Tabla II y Figura 1).

Tabla II: Población Estimada en el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEC).

Sexo	Área Urbana	Área Rural	Total
Hombre	4207	8806	13013
Mujer	4136	8030	12166
Total	8343	16836	25179

Fuente: (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014)

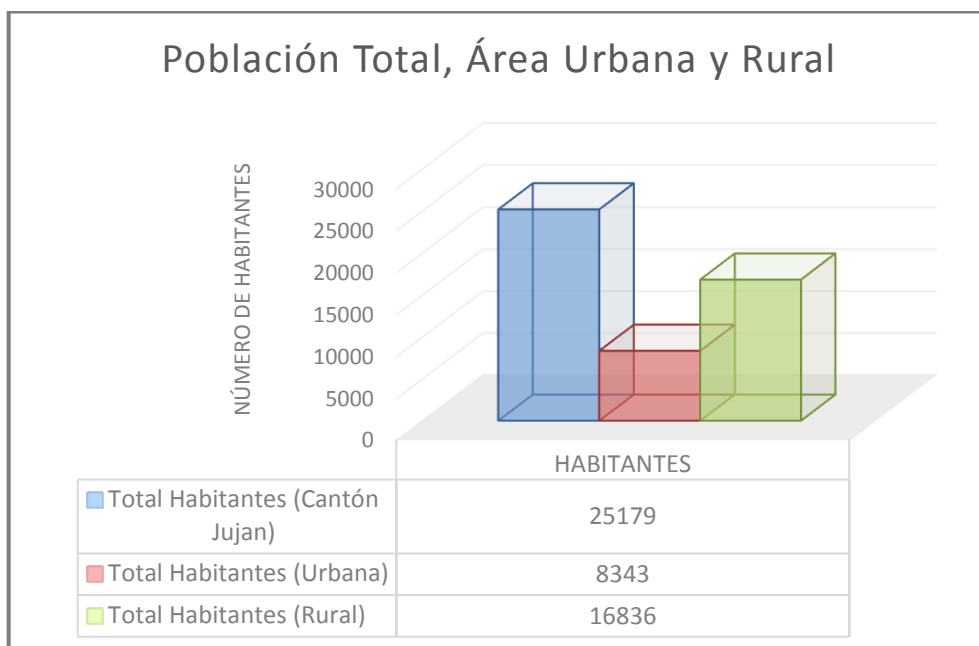


Figura 1: Representación Gráfica de Habitantes en el Cantón Jujan
(GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

En el Cantón Jujan se estimó un total de 6.755 viviendas: 4.762 viviendas que corresponden a la categoría de Casa o Villa, siendo esta categoría la de mayor porcentaje con un 70.50% según es sistema de clasificación de viviendas del INEC. Existiendo una diferencia (en porcentaje) considerable con respecto al resto de tipos de viviendas.

Tabla III: Número y Representación en porcentajes de Viviendas del Cantón Jujan según el tipo.

Tipo de la Vivienda	Casos	%	Acumulado
Casa/Villa	4.762	70,50	70,50
Departamento en casa o edificio	118	1,75	72,24
Cuarto(s) en casa de inquilinatos	69	1,02	73,26
Mediagua	154	2,28	75,54
Rancho	1.352	20,01	95,56

Covacha	189	2,80	98,36
Choza	86	1,27	99,63
Otra vivienda particular	25	0,37	100,00
Total	6.755		

Fuente: (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

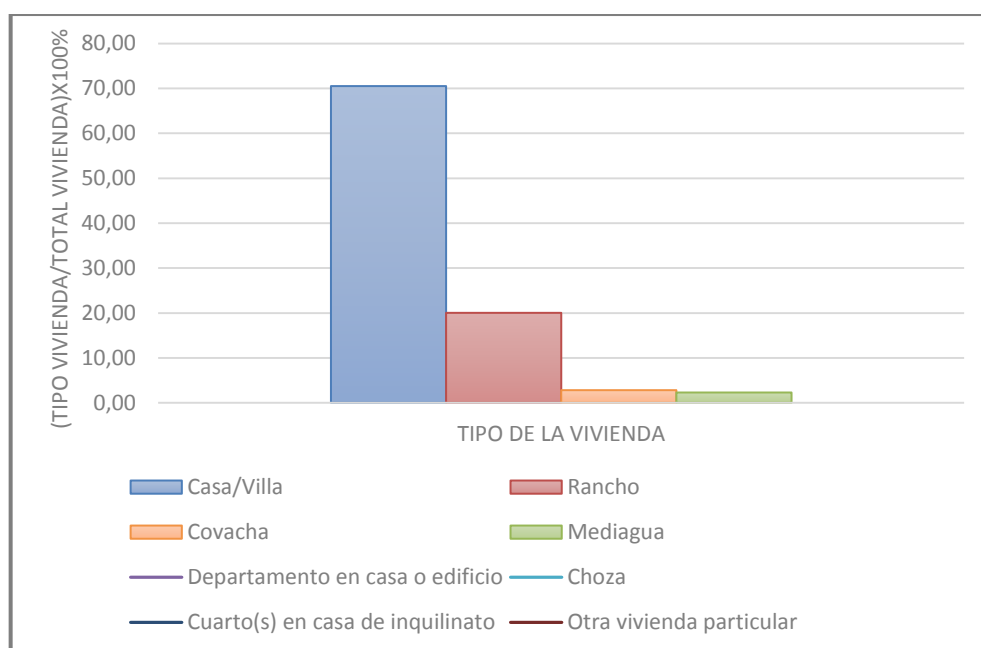


Figura 2: Representación Gráfica en Porcentajes según el tipo de vivienda (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

En los últimos años el Cantón Jujan ha presentado un fenómeno de estancamiento del crecimiento urbano, debido a que su topografía da condiciones poco favorables para la expansión urbana de la cabecera cantonal. En comparación al Recinto Tres Postes ocurre lo contrario ya que presenta un crecimiento en infraestructura, población y en lo comercial.

1.2.4. Clima.

El Cantón Alfredo Baquerizo Moreno por su ubicación geográfica se encuentra en la zona de clima Tropical Mega térmico Húmedo, con temperaturas medias diarias de 25 a 26 Grados Celsius (°C) y precipitaciones medias anuales de 1300 a 2000 mm. Existen zonas con déficit hídrico para actividades agrícolas de 400 a 600 mm, con zonas de evotranspiración potencial de 1400 a 1600 mm, que varía desde oriente a occidente. Los intervalos secos en un intervalo medio anual de julio a diciembre y los días del periodo favorable para la agricultura son entre Enero a Junio.

1.2.5. Ubicación del Recinto Tres Postes, lugar de estudio.

El Recinto Tres Postes se encuentra ubicado al sur del oeste del país, a 11 km del Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan) y a 15 km del Cantón San Jacinto De Yaguachi, pertenece a la provincia del Guayas. Cuenta con una extensión territorial de 604100.5 m², está situado en la Región Litoral o Costa a una altitud de 7 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 24.5° (tomado como referencia el promedio de la temperatura del Cantón Jujan) y tiene una población aproximada de 5.000 habitantes (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014). Actualmente el Recinto Tres Postes se encuentra dividido en

territorio entre los cantones Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan) y San Jacinto De Yaguachi. Tiene las siguientes coordenadas UTM 17 M:

655235.24 m E N 9780366.89 m N

A continuación se presenta capturas de Google Earth como referencia de llegada al Recinto Tres Postes.



Mapa 4: Ruta a elegir para llegar al Recinto Tres Postes, vía Guayaquil-Babahoyo (Google Earth, 2013).

Por la Falta de Información acerca de la extensión territorial del Recinto Tres Postes, se utilizó la herramienta Google Earth para la toma de puntos con sus respectivas coordenadas y así determinar el área aproximada del Recinto mediante la herramienta Autocad Civil 3D.



Mapa 5: Polígono y Puntos aproximados del Contorno del Recinto Tres Postes (Google Earth, 2015).

Tabla IV: Coordenadas de la extensión territorial poblada del Recinto Tres Postes.

Punto N°	Coordenadas Este (m)	Coordenadas Norte (m)
1	655032	9780883
2	655340	9780758
3	655510	9781068
4	655601	9781025
5	655445	9780666
6	655664	9780504
7	655337	9780037
8	655021	9779823
9	654937	9779874
10	654997	9780018
11	654720	9780217
12	654744	9780624
13	655206	9780157

Fuente: (Google Earth, 2015).

1.2.6. Captación de agua en el área urbana del cantón Jujan.

El 95% de la zona urbana cuenta con una red de distribución, la cual es abastecida por 5 pozos y mediante el uso de bombas es almacenada en tanques para luego abastecer a las viviendas sin ningún tratamiento de purificación y sujeta a horarios que no satisfacen las necesidades de la población.

El sistema de red de distribución fue construido a finales de los años 80, consecuentemente las tuberías ya han cumplido su vida útil y al menos el 45% de las redes se encuentran en mal estado, ya que se encuentran a aproximadamente de 1 a 2 metros bajo las calles, y como el cantón está ubicado en una zona baja e inundable, las áreas habitadas se elevaron con relleno hidráulico y material inadecuado que no está bien compactado, consecuentemente con el paso de vehículos pesados se presiona el suelo y por ende se produce un alto porcentaje de pérdidas, disminución de la presión y debido a estas infiltraciones en muchos casos el agua llega turbia a los usuarios ya que suele arrastrar lodo y arena. Por este motivo la población no suele consumir esta agua y se acostumbraron a comprar agua de botellón.

El agua proveniente de pozos suele ocuparse para actividades afines a la limpieza. La sobreexplotación del agua por parte de las bananeras y compañías de sembrío de caña de azúcar, provocan que el nivel de

agua de los pozos cada vez sea más profundo y demande el uso de equipos y bombas sumergibles, encareciéndose los costos operativos.

En el cantón existe una pequeña planta de tratamiento la cual se encuentra instalada en el pozo de las Lomas, en la que cada 8 días se capta agua para tratarla y luego almacenarla en el reservorio, pero debido a la limitada capacidad de tratamiento y almacenamiento, solo se brinda el servicio a las personas que voluntariamente se acercan a la planta a abastecerse de agua para su uso personal y de esta manera satisfacer sus necesidades.

En el área rural el agua se extrae de 38 pozos cada uno con su castillo, de los cuales se abastece el 65% de la población y el 35 % restante se abastece por pozos propios. El agua en el área rural posee concentraciones moderadas de hierro aunque menores que en el área urbana, por lo cual el agua extraída de los pozos no tiene las características óptimas para el consumo humano, causando afectaciones a la salud de quienes la consumen y produciendo daños a las tuberías y bombas ya que estas se corroen rápidamente.

1.2.7. Salud.

Es evidente que en el cantón existe un déficit en salud (Ver Tabla V), debido a que solo cuenta con un centro salud ubicado en la cabecera

cantonal, y 2 Sub centros ubicados en el área Rural en los Recintos Tres Postes y Libertad de Ñauza, los cuales brindan el servicio a la parte céntrica y oeste del cantón. La población restante, al no contar con centros de salud cercanos, se desplazan a estos recintos pero ello conlleva mayor tiempo de desplazamientos a lo que se suma el mal estado de las vías, la falta de transporte público y los horarios de atención.

**Tabla V: Causas de morbilidad; medicina general
Cantón Alfredo Baquerizo Moreno.**

CAUSAS	# DE PERSONAS	%
Parasitosis	853	13,3
Síndrome febril	730	11,5
Resfrío común	675	10,6
Bronquitis	412	6,5
Diarrea aguda	370	5,8
Síndrome diarreico	286	4,5
Amigdalitis	212	3,3
Hipertensión arterial	105	1,6
Varicela	80	1,3
Dengue clásico	72	1,1
Otras enfermedades	2576	40,4
TOTAL	6371	100

Fuente: (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

Analizando la proporción de personas que se enferman en el sitio y los tipos de enfermedades más comunes en los diferentes sectores, se

puede llegar a concluir que las causas más importantes es la calidad del agua, la insalubridad por falta alcantarillado sanitario y pluvial, la baja cobertura de recolección de basura en el área rural, el polvillo generado por las piladoras ubicados dentro del área urbana y las inundaciones que sufre el cantón año a año.

1.2.8. Pozo Central Las Lomas perteneciente a la cabecera cantonal, Jujan.

El jueves 20 de noviembre del 2014 se realizó una visita al sistema principal de abastecimiento de agua potable de la cabecera cantonal Jujan, ubicada en la latitud 1°53'24" S, en la longitud 79°33'13" W a una altitud de 18 m.s.n.m. fue construido por el EX_IEOSS en noviembre de 1984 y tiene una profundidad de 60 m (GAD Alfredo Baquerizo Moreno). El pozo cuenta con un tanque elevado que ya no está en funcionamiento, el agua es directamente distribuida mediante bombeo por medio de una red de tuberías, cuenta con una planta paquete de procesamiento del agua, modelo UPA 200T, pero esta funciona para el tratamiento de cierta cantidad de agua posteriormente ser almacenada y distribuida mediante recipientes que el usuario lleva voluntariamente a la instalación.

Básicamente este sistema de tratamiento tiene capacidad para lo siguiente etapas: coagulación-floculación, sedimentación, desinfección,

filtración. Para el proceso de coagulación-floculación se usa como aditivo el Sulfato de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3$ el cual se agrega mediante una bomba de dosificación, con una relación de 5 Kg en 100 litros de agua, siendo éste mezclado por medio de un agitador eléctrico (Ver Figura 3). Para luego pasar al distribuidor de agua floculada, formado por placas planas ligeramente inclinadas, es aquí en donde se inicia la sedimentación por gravedad de los flóculos y su posterior descarga de lodos.



Figura 3: A la izquierda tenemos al Sr. Juan Villamar explica el proceso que se lleva para la potabilización del agua (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

Finalmente el agua clarificada pasa por medio de unas canaletas al punto de filtración (lecho filtrante) compuesto por 60 cm de arena y 60 cm de grava; aquí mismo se adhiere el Hipoclorito de Calcio $Ca(ClO)_2$ por medio de una bomba de dosificación, con una relación de 800 gr

en 50 litros de agua, para luego ser almacenada bajo una cisterna. La potabilización se la realiza cada 8 días y la manera de distribución a los habitantes es por medio de bidones que cada persona lleva voluntariamente para obtener el agua de consumo.



Figura 4: Entrada del Agua Cruda a la Planta Paquete mediante la manguera de color negro que se puede notar en la fotografía (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).



Figura 5: Punto de Dosificación del Cloro y Filtración de Agua (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

El sistema tiene una capacidad de 20 l/seg de producción de agua potable, el control de dosificación del Hipoclorito de calcio se lo lleva a cabo por medio de un indicador visual que se lo presenta a continuación:



Figura 6: Control de Dosificación de Hipoclorito de calcio (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

La dosificación del hipoclorito de calcio es el correcto si el color de la muestra tratada es igual a el color que la referencia muestra en 0.2 a 0.4 (cloro libre residual mg/l). Además la cabecera cantonal cuenta con otros pozos destinados al abastecimiento público con una característica en común, el estado es deplorable, por cuanto no solo el sistema de agua en los sectores rurales se encuentra en emergencia sanitaria. Los pozos que se encuentran en la cabecera cantonal son los siguientes: Pozo Barrio Sur, Pozo Gruta de la Virgen, Pozo Barrio San Zoilo y el Pozo Coliseo.

1.2.9. Planteamiento del problema.

En Ecuador el 80% del consumo total de agua, es destinado al Riego. Estudios realizados indican que la contaminación en el río Daule (Guayas) por actividades agrícolas, vertidos industriales, lixiviación de vertederos supera al límite permitido de 10 mg/l de Trióxido de nitrógeno (NO_3). Mientras que en ríos como el de San Jacinto de Yaguachi se ha detectado valores de hierro que superan a la normativa ambiental para riego. Además se encontró que los cuerpos de agua de zonas bajas tienen cantidades de coliformes fecales superiores a la permisible (GUZMAN & NARVAEZ, 2010).

Aunque este estudio fue realizado a cuerpos de agua superficial, se puede considerar como un indicador de los impactos negativos causados por cualquier tipo de fuentes contaminantes mencionadas anteriormente. La información sobre contaminación a cuerpos hídricos subterráneos es limitada y de muy baja investigación en el país. Como referencia cercana al Recinto Tres Postes, EL Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Jacinto de Yaguachi ha realizado un estudio de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial en el cual en uno de sus apartados, Diagnostico por Sistema Ambiental: El Agua, en un pequeño párrafo dice: “Adicionalmente, las fuentes de agua utilizadas para todo tipo de consumo, sufren la contaminación por las fumigaciones, el uso arbitrario de agroquímicos y el vertido de residuos

sólidos y orgánicos sin tratamiento” (Fundación Santiago de Guayaquil, 2012).

El Censo Nacional del 2010 en el Ecuador indica que el 79% del agua potable la recibe por red pública en áreas urbanas, mientras que en áreas rurales solo lo recibe el 46%. El agua potable que se distribuye por red pública no tiene garantía en su calidad. El consumo de agua potable en porcentajes está dado de la siguiente manera: 40% de la población hierve el agua, 3% le agrega cloro, y el 1.3% la filtra antes de beberla. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) establece que el 33% de la población bebe agua tal como llega a su vivienda (Organización Panamericana de la Salud, 2013). No obstante, la realidad del Recinto Tres Postes no le es indiferente a ésta situación.

Actualmente Tres Postes cuenta con tres pozos de abastecimiento público; dos que están en funcionamiento y uno realizado en este año que no cuenta con un sistema de extracción, y distribución de agua. Dos de estos pozos fueron realizados por el GAD Alfredo Baquerizo Moreno, los cuales están ubicados en las ciudadelas El Paraíso y Vargas Torres. Otro fue realizado por el GAD San Jacinto De Yaguachi. A continuación se presenta una breve descripción de cada pozo destinado para el abastecimiento público:

Pozo El Paraíso, es el principal con el que cuenta el Recinto Tres Postes, abasteciendo actualmente a una población de aproximadamente 3500 habitantes según el Sr. Elio Palma Viejó, Secretario de la Junta Administradora de Agua Potable, de 5000 habitantes (GAD Alfredo Baquerizo Moreno). El pozo tiene 13 años de funcionamiento, realizado por el GAD Alfredo Baquerizo Moreno para el abastecimiento de la población (Ver Figura 7).



Figura 7: Pozo de Abastecimiento Público El Paraíso, inspección de aspectos básicos en la boca del pozo. Se puede observar presencia de viviendas cerca del pozo (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

La construcción del pozo no sigue las disposiciones de Legislación de Ley de Recursos Hídricos tales como un estudio previo que demuestre la existencia de acuíferos, la correspondiente autorización otorgado por la autoridad única del agua, entre otros órganos regulares previo al tipo de uso y/o explotación de recursos hídricos subterráneos.

El pozo fue hecho por propia experiencia del contratista. Hasta la actualidad cuenta con dos análisis de laboratorio (físico, químico y bacteriológico), el último realizado en el año 2004. En donde especifican que la muestra de agua analizada no cumple con los requisitos establecidos de ese año, en lo que concierne al Manganeso.

De acuerdo a la descripción dada por el Sr. Elio Palma Viejó, se puede decir que se trata de un acuífero no confinado, la topografía del sitio no presta las condiciones para que la instalación sufra de inundación. Las zonas de cultivos de arroz, banano, cacao, etc. se encuentran a una distancia de 4 km fuera de la zona poblada. El pozo presenta una fuente de contaminación cercana debido a lixiviados por pozos sépticos. Para la toma de muestras, se cuenta con un grifo a su salida (Ver Figura 8). La instalación no cumple las disposiciones de los reglamentos para agua potable como el monitoreo de coliformes, desinfección, control de corrosión, etc.



Figura 8: Fotografía tomada luego de la reanudación de abastecimiento del agua, debido a un corte de energía eléctrica (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

La instalación no tiene un adecuado mantenimiento permitiendo una variación considerable de la calidad del agua ocasionada por el deterioro físico del sistema de distribución y las condiciones de operación que se da. El Sistema de Agua Potable no cuenta con operadores capacitados y no reciben ningún tipo de capacitación para el correcto funcionamiento. Además entre los factores que afecta a la calidad del agua están: la afectación al desempeño hidráulico de las tuberías, la capacidad del castillo en volumen, la creciente demanda del agua por la población y el cumplimiento de vida útil de las redes de distribución, ya que no recibe un tratamiento de desinfección y/o tratamiento; es conducida mediante una red de tuberías, las cuales ya han cumplido con el tiempo de vida útil. También se conoce que en la localidad la toma de muestras mínimas recomendadas al año por la INEN 2011 de acuerdo al tamaño de población, para un posterior análisis en laboratorio, no se realiza.

El sistema de distribución funciona básicamente con la extracción del agua subterránea del pozo con coordenadas UTM 17M 655180 m Este y 9780497 m Norte, con altitud de 14 m.s.n.m., con profundidad de 70 metros y con diámetro de camisa de 10 pulgadas, el diseño del pozo es básicamente el siguiente: de 0 a 56 metros la tubería es ciega (no presenta ranuras), de 56 a 70 metros la tubería presenta ranuras y un paquete de grava que ocupa el espacio anular entre la tubería plástica

y la pared de subsuelo, por medio de una bomba sumergible de 7.5 HP de potencia con una producción de 120 gal/min, esta bomba llena de agua un reservorio de aproximadamente 250 m³ en volumen (Ver Figura 9) para luego ser trasladada al castillo que tiene una capacidad de 100 m³ (Ver Figura 10), por medio de una bomba de 10 HP, para finalmente ser enviada a la red de distribución por gravedad.



Figura 9: Reservorio de agua de 250 m³, Pozo de Abastecimiento Público El Paraíso.



Figura 10: Castillo de 100 m³ de capacidad, Inicialmente diseñado para una población de 1500 habitantes.

Pozo Vargas Torres, fue hecho en el presente año con el objetivo de satisfacer las necesidades de agua de los habitantes del sector Vargas Torres, con coordenadas UTM 17M 655393 m Este y 9780170 m Norte, con altitud de 12 m.s.n.m., con referencia a los distintos comentarios dados por los habitantes del sector, se puede decir que el pozo tiene una profundidad de 98 m de profundidad con diámetro de camisa de 10 pulgadas; el diseño del pozo es básicamente el siguiente: de 0 a 50 metros la tubería es ciega (no presenta ranuras), de 50 a 98 metros la tubería presenta ranuras, con tubería de PVC de presión y paquete de grava que ocupa el espacio anular entre la tubería plástica y la pared del subsuelo. Al momento el pozo no se encuentra en funcionamiento, no presenta ningún tipo de extracción, ni de distribución de agua a los habitantes y no se encuentra debidamente protegida (Ver Figura 11). Según argumentan los moradores, el agua posiblemente presente hierro y debido a la cercanía a pozos sépticos existe también la contaminación del agua por lixiviados. No solo la plantación de caña de azúcar puede ser una fuente de contaminación de los acuíferos más cercanos a la superficie (Ver Figura 12), sino también las plantaciones de banano, arroz, cacao. El uso indiscriminado de productos agroquímicos y la falta de control por parte de las autoridades competentes hace que esto sea una fuente de contaminación para los recursos hídricos, principalmente

los superficiales los cuales tienen una mayor vulnerabilidad de ser contaminados.



Figura 11: Pozo de Abastecimiento Público del Sector Vargas Torres.



Figura 12: Plantación de Caña de Azúcar, propiedad del Ingenio Valdez.

El sistema de riego que presentan estos terrenos destinados a la producción agrícola no cuenta con tratamientos antes de la descarga del agua, no tienen una corriente de flujo que permita la aireación natural del agua, básicamente el agua se encuentra estancada. Tres Postes en su historia, ha sido netamente agrícola, aproximadamente hace 80 años fue declarado como recinto y desde entonces lleva a cabo esta actividad por lo que es posible que exista una infiltración de aguas contaminadas a los acuíferos más cercanos y la pluma de contaminación se haya extendido a la zona poblada.

1.3. Justificación.

Procesos tales como sedimentación, coagulación, floculación, filtración, reducen el contenido bacteriológico del agua. Como proceso final la desinfección se encarga de la destrucción o la desactivación completa de los microorganismos dañinos. Es de gran importancia llevar un monitoreo de calidad de agua subterránea sobre todo si estos son pozos de abastecimiento público, debido a que el agua es el principal medio de transporte de microorganismos causante de la mayoría de enfermedades diarreicas asociadas al agua insalubre que se distribuye a la población, lo cual no se da regularmente en la cabecera cantonal y sobre todo en ninguno de los “sistemas de agua potable” de sector rural. Para los habitantes es evidente que no hay un tratamiento adecuado, por el cual

ellos no se sienten seguros de su consumo. La falta de difusión, importancia y concienciación por parte de la administración pública del GAD Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan) en temas de educación sanitaria para los usuarios y operadores de cada uno de los puntos de distribución ha hecho que este sea un factor importante en el deterioro del mismo.

Debido al consumo de agua y al abastecimiento del mismo que se da a la población del Recinto Tres Postes, hay la necesidad de un tratamiento para garantizar la potabilidad del agua distribuida y evitar posibles enfermedades ocasionadas por contaminantes presentes en la misma. Por esta razón con este estudio se pretende implementar un tratamiento con filtros a base de zeolita y que nos permita de tal manera conocer la eficiencia del mismo, en la remoción de contaminantes que puedan ser perjudicial a la salud de los habitantes del recinto. En consecuencia comparar concentraciones iniciales de contaminantes, concentraciones de contaminantes luego de pasar a través del filtro, con los límites máximos permitidos según la norma INEN 2011 y de esta manera determinar el filtro de mayor eficiencia en la obtención una mejor calidad de agua para el consumo y uso diario.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Determinar la eficiencia de la zeolita en la remoción de contaminantes presentes en el agua de dos pozos de abastecimiento público del Recinto Tres Postes; mediante el diseño de filtros a base de zeolita natural que se encuentra a lo largo de la Cordillera Chongón-Colonche, sector Isidro Ayora.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar los tipos de contaminantes presentes en el agua del Recinto Tres Postes y de estos prestarle mayor énfasis a los contaminantes más perjudiciales para su remoción.
- Construir filtros a base de zeolita para determinar la eficiencia que tiene en remover los contaminantes previamente identificados.
- Determinar porcentajes de remoción de contaminantes importantes luego del ensayo llevado a cabo mediante nuevos análisis de laboratorio.
- Comparar las concentraciones de dichos contaminantes con los permitidos según las normas vigentes.

CAPÍTULO 2.

2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN.

2.1. El ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico fue dado por los investigadores franceses Perrault y Mariotte en el siglo XVII. Basándose en pruebas de campo llegaron a la conclusión que tanto las aguas fluviales como subterráneas se originan de las lluvias (Werner, 1996). Los flujos de agua entre las zonas de almacenamiento se dan en la figura 13 y son explicados posteriormente. Se tienen altas velocidades de rotación entre la atmósfera, la biósfera, los suelos y los ríos; una molécula de agua puede estar en la atmósfera por 9.2 días y mucho menos en regiones tropicales; la descarga de los ríos van en contraste con la precipitación global, básicamente un equilibrio de descarga y el agua que las cuencas oceánicas pierden con la evaporización (Marshall, 2014).

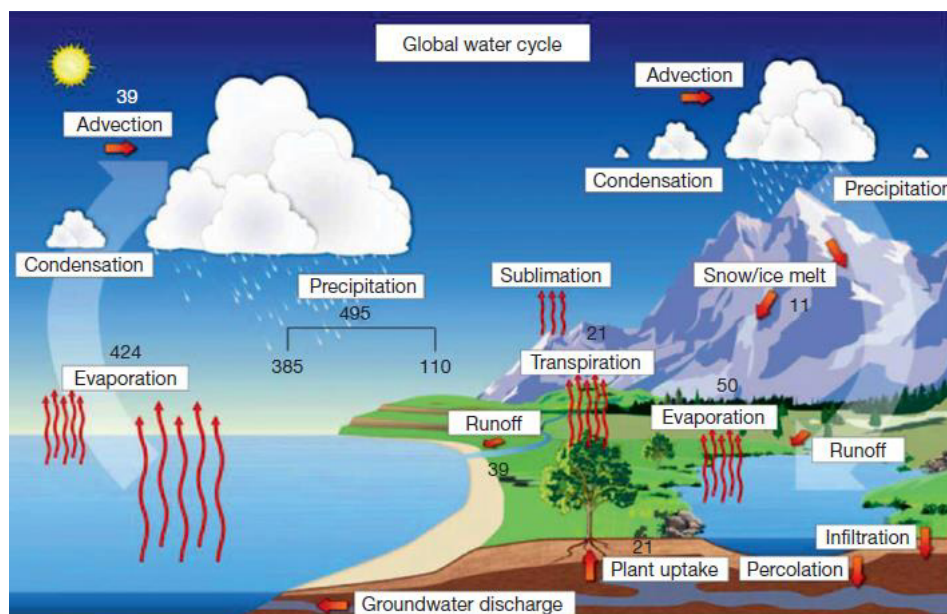


Figura 13: Descripción gráfica del flujo de agua en $10^{12} m^3$ por año en el Ciclo Hidrológico (Marshall, 2014).

El Ciclo Hidrológico es estudiado por varias disciplinas; cada una con sus respectivos objetivos; básicamente son las siguientes: Meteorología y Climatología que estudia el agua en la atmósfera, Hidrología que estudia las aguas superficiales, Hidropedología (Edafología) que estudia el agua en los suelos e Hidrogeología que estudia las aguas subterráneas (Werner, 1996).

La (USGS, 2014) ha identificado 15 etapas que componen al ciclo hidrológico muy bien definidas:

- Agua almacenada en los océanos.
- Evaporación.
- Agua en la atmosfera.

- Condensación.
- Precipitación.
- Agua almacenada en los hielos y la nieve.
- Agua de deshielo.
- Escorrentía superficial.
- Corriente de agua.
- Agua dulce almacenada.
- Infiltración.
- Descarga de agua subterránea.
- Manantiales.
- Transpiración.
- Agua subterránea almacenada.

El ciclo hidrológico es el movimiento continuo del agua por el planeta, es decir que no tiene principio ni fin, pero se puede describir a partir del agua de los océanos, que cubre alrededor de las dos terceras partes de la Tierra. Según la U. S. Geological Survey estima que del volumen total de agua que hay en la Tierra (1.386.000.000 km³), aproximadamente el 96.5% del agua es almacenada en los océanos (1.338.000.000 km³) y el restante 3.5% de agua se encuentra se distribuye de maneras diferentes en el planeta, estimándose también que el 90% del agua que se evapora hacia la atmosfera, proviene de los océanos, mares, lagos y ríos; el 10% restante proviene de la transpiración de plantas y árboles. La radiación

del sol y la energía eólica, que indirectamente también deriva de la energía solar, provocan la evaporación del agua a la atmósfera, que junto con el agua de evapotranspiración (agua procedente de plantas y suelo) se elevan en forma de vapor y conforme se eleva se condensa ya que las temperaturas son más frías, consecuentemente formando las nubes. Si las condiciones son adecuadas, éstas, a su vez, se condensan y vuelven a caer sobre la tierra en forma de lluvia, granizo o nieve (FAO D. d., 1993).

De esta agua evaporada, sólo el 78% es devuelto a las cuencas oceánicas por medio de la precipitación. El 22% restante se transporta a las zonas continentales donde los factores climatológicos inducen la formación de la precipitación (Marshall, 2014). El agua precipitada escurre parcialmente sobre la superficie terrestre como agua superficial; parte de esta agua se infiltra al subsuelo y hacia las rocas, una porción de ésta forma un interflujo superficial y otra parte ingresa a formaciones más profundas que teniendo cierto grado de porosidad y que permita el movimiento del agua, son llamados capas acuíferas; la mayor parte del agua que escurre superficialmente se evapora o descargan sobre ríos, y estos a su vez, descargan a los océanos, esto va depender íntegramente del grado de temperatura en el ambiente (Werner, 1996).

El agua infiltrada va marcando dos zonas de saturación: zona no saturada y zona saturada (Ver Figura 14). La zona de no saturación es la

parte de la zona borde de capilaridad hacia la superficie, es una zona en la cual se infiltra el agua pero que no satura completamente el suelo, es decir los vacíos no son ocupados completamente, y la zona de saturación los vacíos son ocupados en su totalidad por agua. Propiamente la zona de saturación completa podría denominarse capa acuífera, si estas presentan las condiciones antes mencionadas, siendo el subsuelo una zona de un apreciable volumen de almacenamiento de agua. El agua sigue en movimiento, pero de manera lenta; parte de ésta agua emerge a cuerpos de agua superficiales como ríos y manantiales y el resto sigue desplazándose por gravedad a formaciones de mayor profundidad (USGS, 2014).

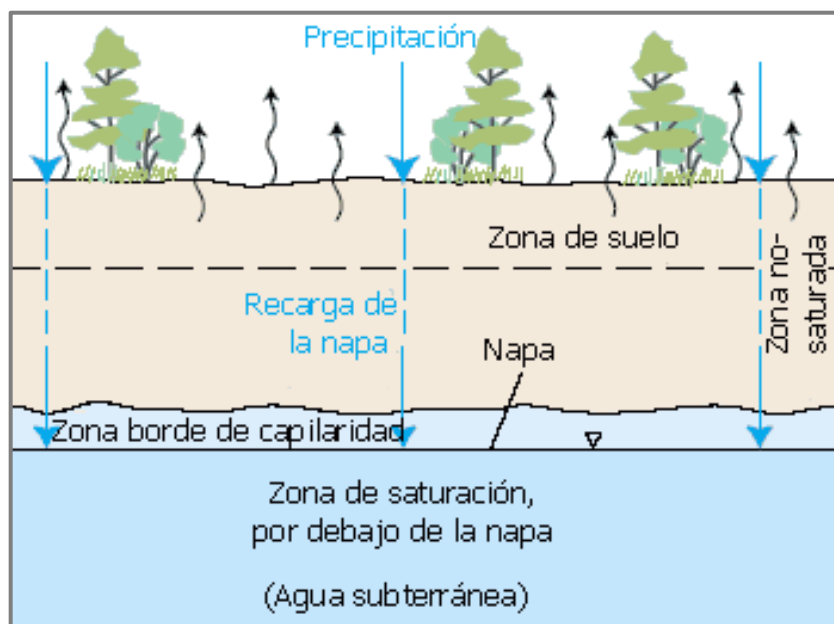


Figura 14: Infiltración - Zona de Suelo (U. S. Geological Survey, 2014).

El ciclo hidrológico describe una interacción directa entre varios escenarios que forman parte del ciclo hidrológico los cuales son la Biosfera, Atmósfera, Litosfera, Hidrosfera, lo que se denomina Sistema Climático. Además si se habla a nivel del suelo el agua se puede almacenar en océanos, lagos, ríos, glaciares, campos de nieve y aguas subterráneas; y se mueven mediante procesos tales como: Evaporación, Condensación, Precipitación, Sedimentación, Escorrentía, Infiltración, Sublimación, Transpiración, Fusión, y flujo de agua subterránea. (GALVEZ, 2011).

Los hidrólogos, en la práctica, se enfocan principalmente en el estudio del balance del agua en determinados sitios específicos o regiones, sobre todo en campos agrícolas, lagos o reservorios, cuencas fluviales, jurisdicciones políticas, sitios de gran interés; en donde el manejo eficiente del agua es de mucha importancia, por ejemplo sitios en donde son vulnerables a extremos hidrológicos como la sequía, inundaciones, flujo de ríos. La siguiente ecuación de balance de agua generalizado toma en cuenta las entradas en una región que viene dada por la precipitación y el flujo de agua (ríos, arroyos, etc.), y las salidas que incluye la evaporación, transpiración, adsorción biológica, flujo de agua superficial o subterráneo o cualquier otro medio en el cual permita la salida de agua de la región o sitio en específico:

$$\frac{dv}{dt} = S = Q_{in} - Q_{out} \quad [Ec.1]$$

Donde V es el volumen del agua, t es el tiempo, S es el cambio de volumen de agua con respecto al tiempo (o tasa de almacenamiento), y Q es flujo de agua dentro y fuera de la región (Marshall, 2014). A manera de descripción general, la distribución global de agua en la tierra se lo describe a continuación mediante la siguiente tabla (USGS, 2014):

Tabla VI: Estimación de distribución global del Agua.

Fuente de Agua	Volumen de Agua (km ³)	% Agua Dulce	% Total de Agua
Océanos, Mares y Bahías.	1.338.000.000	---	96,5
Capas de Hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24.064.000	68,7	1,74
Agua Subterránea	23.400.000	---	1,7
Dulce	10.530.000	30,1	0,76
Salada	12.870.000	---	0,94
Humedad del Suelo	16.500	0,05	0,001
Hielo en el suelo	300.000	0,86	0,022
Lagos	176.400	---	0,013
Dulce	91.000	0,26	0,007
Salada	85.400	---	0,006
Atmósfera	12.900	0,04	0,001
Agua de Pantano	11.470	0,03	0,0008
Ríos	2.120	0,006	0,0002
Agua Biológica	1.120	0,003	0,0001
Total	1.386.000.000	---	100
Fuente: U. S. Geological Survey, 2014			

2.2. Aguas subterráneas.

En la actualidad es uno de los recursos hídricos principales para el sustento del ser humano. Se denomina agua subterránea a toda agua que queda almacenada en toda formación geológica con capacidad de almacenamiento. Desde el punto de vista de la hidrogeología el agua subterránea es toda agua debajo de la superficie de la tierra que actualmente participa en el ciclo hidrológico o que está almacenada de tal modo que puede entrar nuevamente en este ciclo (Werner, 1996).

El agua subterránea es mundialmente importante, y los cambios en su calidad pueden tener serias consecuencias. Además el uso de este recurso hídrico subterráneo es hoy en día la primera fuente de abastecimiento de agua para el uso diario del ser humano. Éste recurso aproximadamente lo constituye en un 37% de agua no-oceánica de la Tierra, en comparación a un 63% del agua en las capas de hielos y menos del 1% de la mitad del agua en cuerpos hídricos superficiales.

Dado que el agua subterránea forma parte del ciclo hidrológico, se ha explicado el mecanismo de recarga de los acuíferos, pero no solo los acuíferos pueden ser recargados por medio de la infiltración de agua que precipita en la zona continental sino también pueden ser recargados por medios superficiales directamente conectados como ríos, arroyos, lagos, lagunas, etc. (Ver Figura 15 y 16).



Figura 15: Representación gráfica de un río efluente; Flujo de agua desde el acuífero hacia el río (Acuifers, 2011).

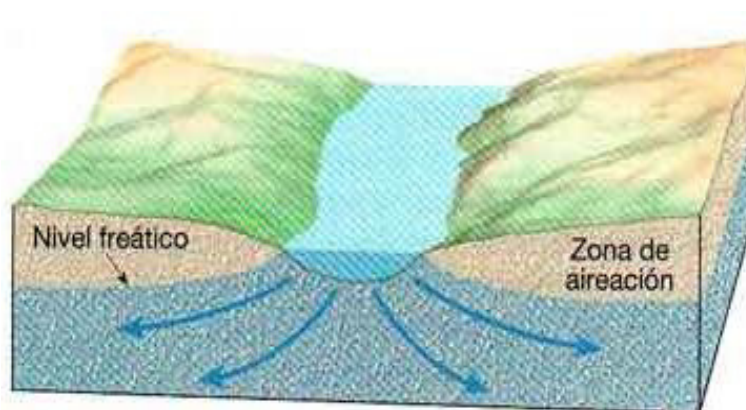


Figura 16: Representación gráfica de río influyente; el río aporta agua al acuífero libre (gidahatari, 2013).

Precisamente si las condiciones topográficas y geológicas lo faciliten; caso contrario las aguas subterráneas podrían descargar sobre estos cuerpos hídricos superficiales disminuyendo así su capacidad en volumen de retención de agua, como es el caso de los manantiales. Es notorio la importancia del conocimiento del balance de agua en determinada región, pudiendo establecer de manera eficiente el manejo

responsable del agua. Además la investigación y estudio de las condiciones extremas hidrológicas nos permitirán conocer las medidas necesarias ante épocas de sequía o ante un aumento considerable de precipitación.

2.3. Red de flujo de agua subterránea.

Para hablar sobre el flujo de agua subterránea se debe empezar por entender que consta de la recarga, el flujo horizontal y la descarga del agua subterránea; el sistema de flujo de agua subterránea se encuentra dentro del ciclo hidrológico.

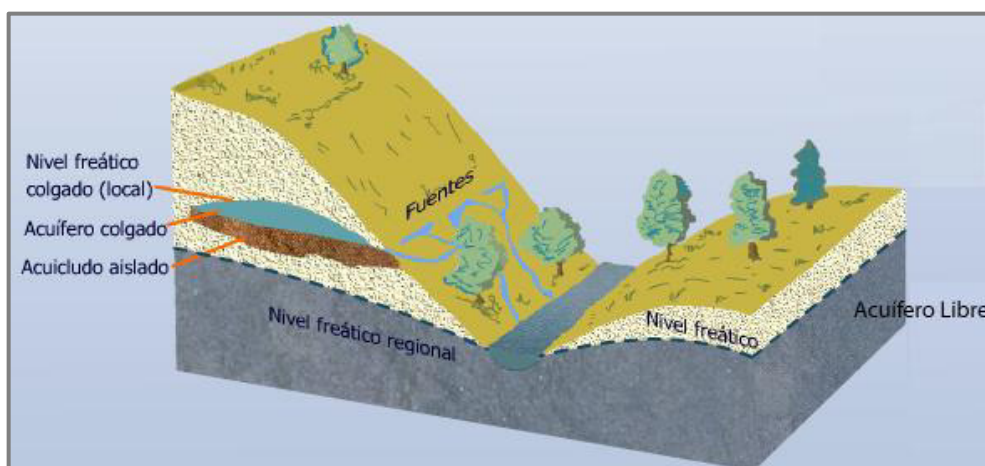


Figura 17: Zonas de recargas de un acuífero (UCM, 2006).

De acuerdo a su conformación geológica y su topografía estos acuíferos pueden tener zonas de recargas dispuestos de múltiples maneras como los acuíferos colgados (aislado), acuíferos de estratos múltiples, entre

otros (Ver Figura 17). En consecuencia a esto, para que se dé un movimiento de agua entre los vacíos intersticiales tiene que existir una carga hidráulica que induce por presión gravitatoria el movimiento de este líquido, un ejemplo que demuestra este flujo de agua sería los pozos artesianos, que estarían gobernados por la Ley de Darcy. No solo se necesita de una carga hidráulica que genere este movimiento sino también se tiene una presión de poros, debida al peso propio de las formaciones adyacentes superiores al acuífero que también contribuyen al movimiento de agua a través de los vacíos.

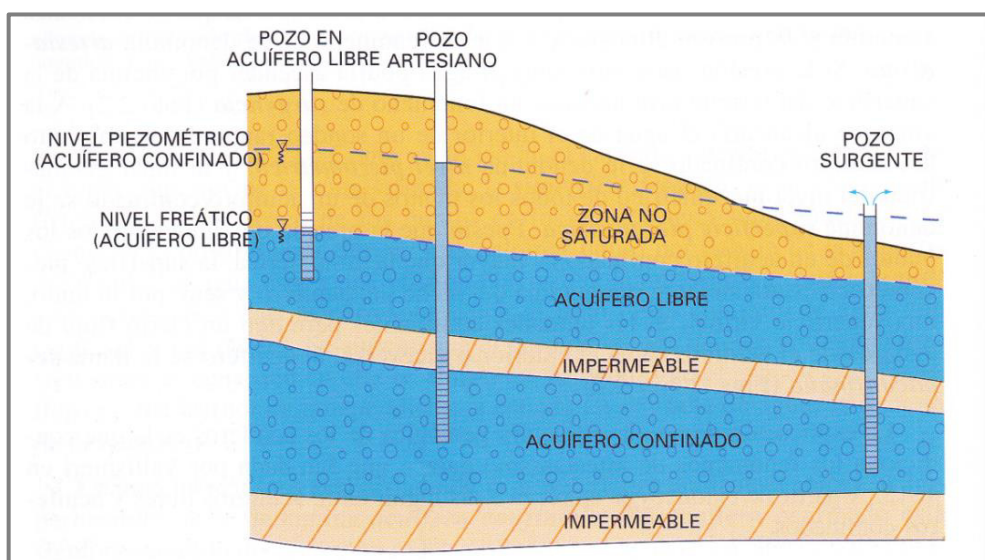


Figura 18: Comportamiento de diferentes tipos de pozos según el potencial hidráulico. Explicación esquemática cuando se da un pozo artesiano debido a la carga hidráulica con respecto a su línea de energía dada por la línea entre punteada (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

Tanto el nivel freático como el nivel piezométrico (Ver Figura 18), es decir la altura que alcanza el agua dentro del pozo en cualquier punto del

acuífero son producto de la energía que tiene el agua en ese punto, conocido como potencial hidráulico medido en unidades de longitud según Hubbert, 1940. Para comprender esta definición se ha planteado una fórmula entre el nivel piezométrico y nivel freático para cualquier punto del acuífero teniendo como referencia las medidas de cotas topográficas. Debido a la energía de la presión del agua y a la posición del punto, el potencial hidráulico es la suma de una energía potencial:

$$h = z + \frac{p}{\gamma} \quad [Ec.2]$$

Dónde:

- h = es el potencial hidráulico (m).
- z = cota del punto del acuífero sobre un plano de referencia (m).
- p = presión a la que se encuentra sometida el agua en el punto del acuífero (N/m²).
- γ = peso específico del agua (N/m³).

El movimiento del agua, de zonas de mayor energía a las de menor energía, se debe al sistema estático potencial hidráulico. En un sistema dinámico se tiene en cuenta la energía cinética debido a la velocidad del movimiento, pero al hablar de aguas subterráneas se habla del flujo lento del agua, es por esta razón que en los cálculos este término es despreciable.

2.4. Definición de acuíferos y aplicación de pozos.

El termino Acuífero viene dado del latín aqua = agua y ferre = llevar; por lo que este nombre nos induce a decir que un acuífero es una unidad geológica capaz de almacenar agua y conducirla (Huguet, 2005).

El principal medio de extracción de agua subterránea, es la perforación de pozos; lo cuales varían de diámetros y profundidad, dependiendo de uso y/o explotación del acuífero estos pozos pueden abastecer a poblaciones por lo general rurales. Es necesario mencionar que cuando el pozo es bombeado el nivel estático (distancia que existe entre el espejo de agua con la superficie antes del bombeo) desciende. El descenso del nivel estático llegara a tal profundidad cuando se es bombeada el agua subterránea; en ese punto, el nivel del espejo de agua se lo conoce como nivel dinámico, formando un cono de abatimiento o de influencia circundante al pozo (Ver Figura 19).

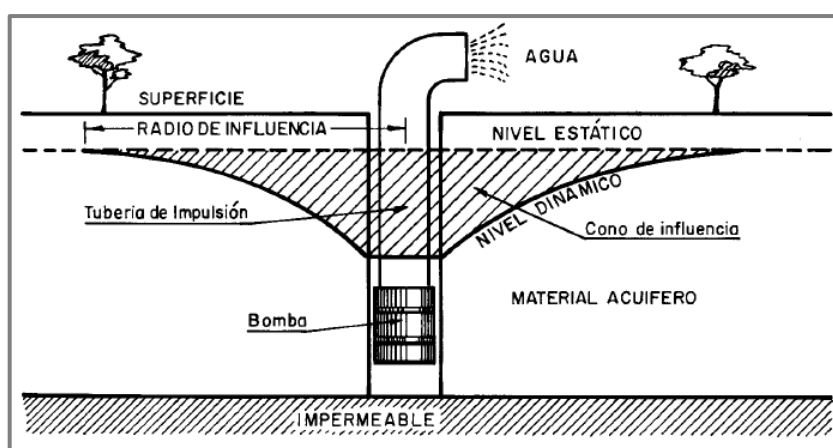


Figura 19: Cono de influencia al bombear un pozo de captación (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).

A medida que este nivel dinámico disminuye conforme se aleja del punto de bombeo será nulo, es decir que al realizar los sondeos, el agua alcanza una nueva cota hasta encontrar el equilibrio con la presión atmosférica (Huguet, 2005); la distancia entre el punto de bombeo hasta el nivel dinámico nulo, se lo conoce como radio de influencia.

Para definir acuífero, según (Huguet, 2005) un acuífero es una formación geológica alojada bajo la superficie terrestre que al estar completamente saturada y según la permeabilidad del suelo, puede llegar a tener una gran capacidad de almacenaje de agua. Un concepto más amplio, utilizado en la hidrogeología clásica, definen a un acuífero como un medio rocoso en el cual se mueve el agua subterránea (Werner, 1996). Debido a la estructura rocosa permeable del suelo, se permite el paso del agua de tal manera que se logre el aprovechamiento de la misma (Huguet, 2005). Teniendo como principales funciones el almacenamiento del agua, conductor de agua subterránea y como medio de intercambio geoquímico (Werner, 1996).

2.5. Clasificación de los acuíferos según sus características hidrogeológicas.

Desde el punto de vista de la hidrogeología las rocas pueden ser clasificadas según su capacidad de almacenar agua y su conductividad hidráulica, esencialmente se clasifican en:

- **Acuíferos**, rocas capaces de almacenar agua y conducir las en cantidades considerables.
- **Acuitardos**, rocas capaces de almacenar agua y conducir las lentamente.
- **Acuícludos**, rocas capaces de almacenar agua en cantidades apreciables pero con una conducción casi nula de la misma.
- **Acuífugos**, rocas que no almacenan agua ni conducen agua.

Para distinguir el tipo de acuífero de cualquier formación se hace una caracterización de una unidad de formación de acuerdo a la naturaleza del resto de unidades de formación geológicas de la región (Werner, 1996). Como referencia general sobre los tipos de acuíferos según su capacidad de almacenamiento (porosidad) y su capacidad de transmitir agua, se presenta varios ejemplos en la siguiente tabla:

Tabla VII: Formaciones hidrogeológicas.

Tipos	Ejemplos	Rangos de permeabilidad	Rangos de porosidad
Acuíferos	Formaciones aluviales con gravas y arena	1-1000 m/día	10% a 30%
Acuitardos	Formaciones aluviales con arenas muy finas, limos y arcillas	0,1-0,001 m/día	20% a 40%
Acuícludos	Estratos impermeables como formaciones arcillosas	10^{-4} a 10^{-7} m/día	>40%
Acuífugos	Rocas ígneas y metamórficas, no contienen agua	$< 10^{-6}$ m/día	<0,1%

Fuente: (Huguet, 2005).

2.6. Tipos de acuíferos según la textura que presenta la formación.

De acuerdo a su textura podemos distinguir tres tipos de acuíferos, fundamentalmente son los siguientes (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984):

- Aquellos cuya permeabilidad la tienen por medio de sus grietas y fisuras, sea estos de tipo mecánico o de disolución. A estos acuíferos, en conjunto, también se los conoce como Kársticos y fisurados, tales como las areniscas, las calizas, granitos, basálticos, etc.
- Aquellos cuya permeabilidad la tienen por medio de su porosidad (espacios intergranulares), a éstos se los conoce como acuíferos porosos, entre estos se encuentran las formaciones de gravas, arenas, etc., o cualquier otra tipo de formación con partículas tipo granulares.
- Aquellos que cuya permeabilidad la tienen en conjunto de los dos tipos de acuíferos anteriores, dando como resultados los acuíferos kársticos y porosos, entre ellos están las formaciones calcarenitas.

2.7. Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico.

Por lo general los acuíferos se encuentran delimitados por estratos de baja permeabilidad; éstos pueden presentarse horizontales o casi

verticales. Las formaciones acuíferas, según sus delimitaciones superiores pueden ser clasificadas en los siguientes tipos hidrodinámicos (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984):

- **Acuíferos libres**, Acuífero libre o no confinado es aquel cuyo nivel superior de saturación está sometido a presiones atmosféricas y que se encuentra por debajo del techo de la formación permeable, es decir que existe una superficie libre del agua. El agua que seden, es la que tienen almacenadas en sus poros; poseen grandes cantidades de agua. Al ser bombeados el cono de influencia suele ser pronunciado, es decir, tienen descensos del nivel de agua considerables y sus radios de influencia son cortos. También conocidos como acuíferos freáticos (Ver Figura 20).

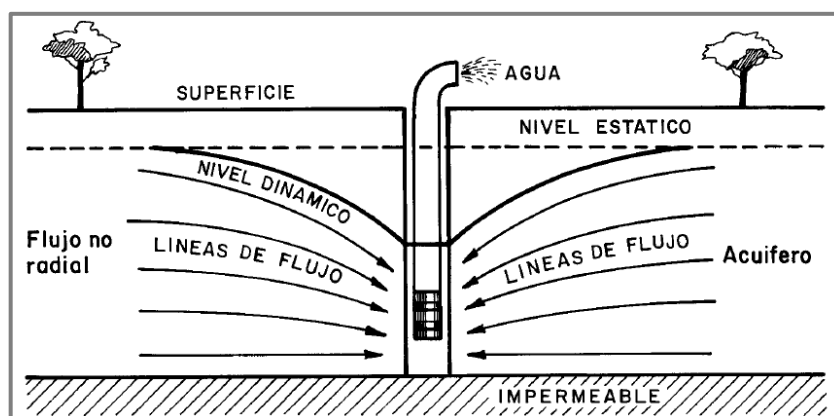


Figura 20: Acuífero Libre (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).

- **Acuíferos semiconfinados**, Formación geológica que está confinada entre dos estratos no necesariamente impermeables,

de los cuales el estrato superior corresponde a un acuitardo, es decir que al no ser estratos impermeables, por filtración se permite el paso del agua hacia el acuífero libre (inferior). Estos acuíferos al ser bombeados, el tamaño del cono de influencia está entre un acuífero libre y un acuífero confinado.

- **Acuíferos cautivos o confinados**, Esta formación geológica está confinada entre dos estratos impermeables y tiene como principal característica la de estar completamente saturada de agua, es decir que al momento de realizar una perforación, el agua asciende hasta que se estabiliza con la presión atmosférica; esto se da por el propio peso de las formaciones geológicas que están adyacentes en la parte superior del acuífero aislado (Ver Figura 21).

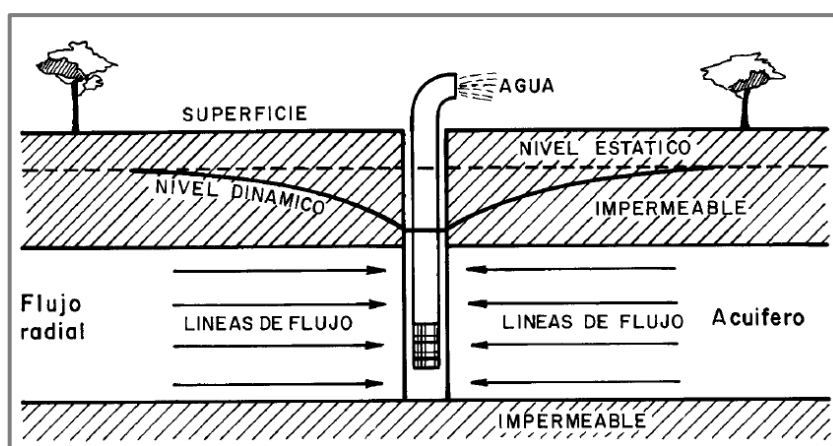


Figura 21: Acuíferos Cautivos o Confinados (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).

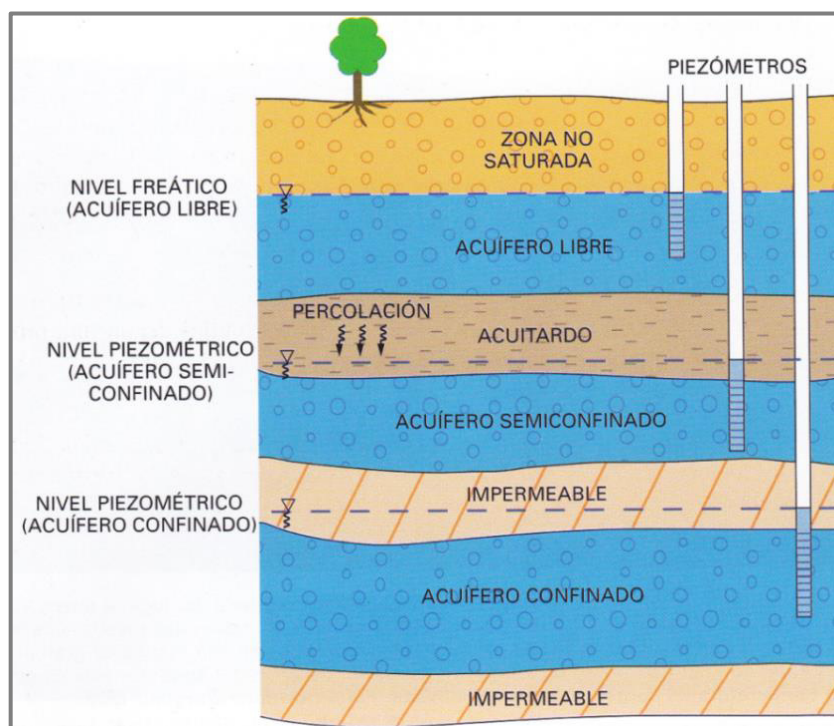


Figura 22: Representación gráfica de los tipos de acuíferos (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

En la figura 22 se observa cuando el nivel piezométrico desciende por debajo de su techo, ya sea en acuíferos confinados o semiconfinados, el acuífero adquiere la condición de libre (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

2.8. Métodos de investigación y/o explotación de aguas subterráneas.

Para la búsqueda de agua subterránea se han desarrollado varios métodos a lo largo de la historia; con el objetivo de extraer tal recurso para el uso y/o abastecimiento en diferentes áreas en las que se benefician los seres humanos. Métodos geofísicos como los

gravimétricos, magnéticos, sísmicos y eléctricos pueden ser capaces de arrojar resultados prometedores en la búsqueda de agua subterránea, siendo estas técnicas de investigación, métodos indirectos (CASAS, 2000). Los métodos geoelectrónicos son los más populares hoy en día en el campo de la investigación hidrogeológica; éstos son muy utilizados para la exploración de agua subterránea y de forma limitada en estudios geotécnicos (Arias, Echeverri Ramírez, & Hoyos Patiño, 2012). No obstante los resultados obtenidos mediante estas técnicas, solo son condiciones necesarias, más no suficientes. Dicho de otra manera, los resultados podrían indicar formaciones geológicas con capacidad de almacenamiento de agua, más no, formaciones que puedan ser explotadas como acuíferos (CASAS, 2000).

Por otra parte los métodos geoelectrónicos han sido utilizados en otras disciplinas de investigación; investigadores como (Frohlich, Urish, Fuller, & O'Reilly, 1994), han aplicado este método geoelectrónico para determinar la contaminación de acuíferos costeros debido a la infiltración de agua de mar y la contaminación por lixiviados de viejos rellenos sanitarios. Por otro lado también son de mucha ayuda en la agricultura, (Corwin & Lesch, 2005), en la medición de salinidad del suelo, en los problemas asociados al riego de terrenos agrícolas y zonas con acuíferos freáticos.

2.8.1. Exploración Geofísica: Método de Resistividad Eléctrica.

El método consiste en las diferencias de las resistencias eléctricas de los diferentes tipos de suelos debido a una acción electrolítica dada por la concentración de sales que se encuentran disueltas en el agua que se encuentra contenida en los poros (Murthy, 2002). El contenido de arcilla en el estrato define la resistividad eléctrica en la formación; formaciones arcillosas poco permeables presentan una baja resistividad, mientras que formaciones arenosas permeables presentan una alta resistividad (Møller, Sørensen, & Auken, 2008). En otras palabras, las arcillas saturadas en todos sus poros presentan una mayor conductividad eléctrica debido a la alta presencia de iones libres.

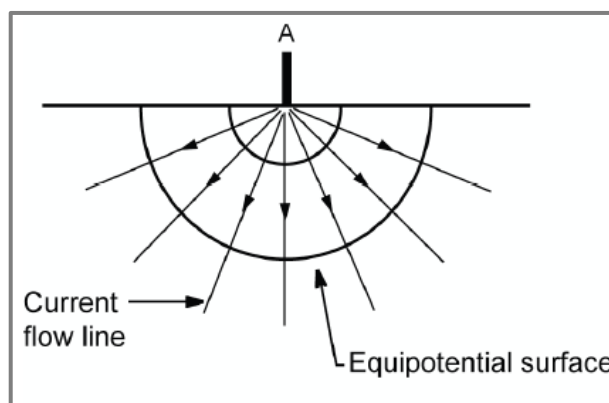


Figura 23: Flujo de corriente radial que surge de un electrodo A (Møller, Sørensen, & Auken, 2008).

En la figura 23 se observa como las mediciones geoelectricas se lleva a cabo mediante el registro del potencial eléctrico, que surge de la

entrada de corriente en el suelo. Suponiendo que el suelo es homogéneo; el flujo de corriente es de forma radial hacia afuera de la fuente, formando de esta manera con las líneas equipotenciales una esfera con radio r . Debido a que el aire sobre la superficie es aislante solo se forma una media esfera.

En el caso de tener un electrodo que emita la corriente de entrada y otro que reciba la corriente que viaja a través de suelo, las líneas de flujo de corriente se vuelven más complejas, como se observa en la figura 24.

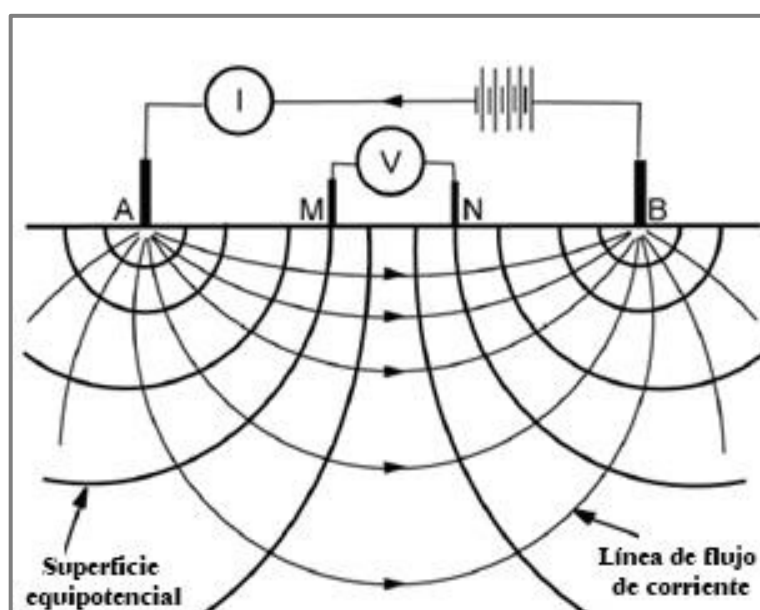


Figura 24: Cambio de las líneas de flujo debido al electrodo B (Møller, Sørensen, & Auken, 2008).

Los datos geoelectrónicos son comúnmente expresados como resistividades aparentes:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} * K \quad [Ec.3]$$

Donde ΔV es la diferencia de potenciales eléctricos, I la intensidad de corriente y K es un factor geométrico expresado como,

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{|r_A - r_M|} - \frac{1}{|r_A - r_N|} - \frac{1}{|r_B - r_M|} + \frac{1}{|r_B - r_N|} \right] \quad [Ec.4]$$

Donde r_A y r_B son las posiciones de los electrodos de corriente, y r_M y r_N son las posiciones de los electrodos de potencial eléctrico. La resistividad aparente está definida del tal modo que sea igual a la resistividad verdadera en un medio homogéneo (Møller, Sørensen, & Auken, 2008). Existen varios métodos para las mediciones de las resistividades de los suelos, entre los más populares está el método de Schlumberger y el de Wenner. Una explicación breve de la aplicación y metodología de estos métodos es dada por (Frohlich, Urish, Fuller, & O'Reilly, 1994), a continuación una traducción del texto:

El sondeo de profundidad **Schlumberger** es utilizado en la investigación de cambios de resistividades con la profundidad. La separación entre los dos electrodos de corriente (AB), se expanden sucesivamente mientras que los electros de potencial (MN) tienen una separación corta y deben mantenerse inmóvil en la posición del sondeo profundo, como se muestra en la figura 25.

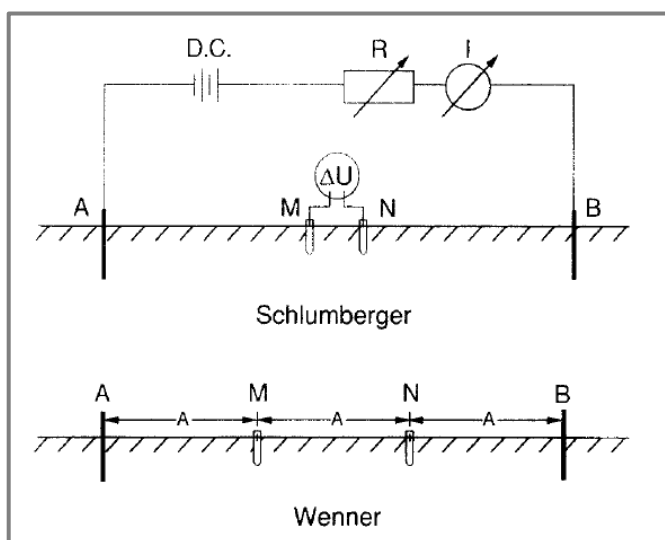


Figura 25: Se muestra un esquema de los métodos Schlumberger (arriba) y Wenner (abajo), donde el $\Delta V = \Delta U$ (Møller, Sørensen, & Auken, 2008).

La unidad de medida es la resistividad aparente, ρ_a calculándose por medio de las relaciones antes mencionadas que son, el producto entre el factor geométrico K, el cociente del potencial medido ΔV y la fuente de corriente I. La resistividad aparente versus $AB/2$, es representada en un papel logarítmico, resultando en una curva de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). La curva SEV muestra el cambio de resistividades con la profundidad, debido a que la penetración efectiva incrementa con el aumento del espaciamiento entre electrodos de corriente. Posteriormente se procede a la interpretación de las curvas mediante la ayuda de softwares apropiados y con la integración de datos geológicos de superficie con curvas de resistividades es posible

interpretar los espesores de los diferentes estratos presentes en el punto de sondeo.

El método de perfil horizontal Wenner (Ver Figura 25) utiliza una separación constante entre todos los electrodos, de modo que $AM = MN = NB$; todos los espaciamentos son iguales y se los caracteriza mediante la letra A. El espaciamento A debe ser tomado cuidadosamente, usando información obtenida proveniente de las curvas SEV. Todos los cuatro electrodos son movidos como una unidad con separación fija a través de una anomalía esperada. Este método geofísico proporciona información sobre los cambios de resistividades dentro de un cierto rango de profundidad. A continuación se presenta una tabla de valores de resistividades representativos:

Tabla VIII: Valores representativos de resistividad. Los valores son representados en unidades de 10^3 ohm-cm.

Material	Resistividad ohm-cm
Arcilla y limo saturado	0-10
Arcilla arenosa y limo arenoso húmedo	10-25
Arena arcillosa y arena saturada	25-50
Arena	50-150
Grava	150-500
Roca meteorizada	100-200
Roca sana	150-4000
Fuente: (Murthy, 2002).	

2.8.2. Captación de Aguas Subterráneas: Perforación de Pozos y Sondeos.

Existen dos maneras comunes de captación de agua: Cuerpos de agua superficial, ya sean estos ríos, lagunas, canales, etc. Cuerpo de aguas subterráneas, agua extraída usualmente mediante perforaciones barrenadas en la superficie terrestre, su profundidad depende de la existencia de capas acuíferas y si éstas son capaces de contener agua suficiente para el uso y/o explotación de este recurso hídrico. Desde la etapa de planificación, estudios geológicos e hidrológicos, selección de material para la perforación, desarrollo de un sistema de captación de agua, es importante factores como el control de calidad y métodos que se apliquen para el cuidado del mismo, de tal manera que se logre un sistema óptimo y eficiente (Rubio, Sánchez, Camacho, & Geta, 2000).

Se conoce como pozos a todo hueco circular cavado manualmente con grandes diámetros y poca profundidad; con el objetivo de extraer agua subterránea; a estos pozos de gran diámetro se los conoce también como pozos abiertos. El termino sondeo, en hidrogeología son perforaciones hechas de forma mecánica de diámetros pequeños y profundos, con fin investigativo. Dicho de otra manera, los sondeos una vez acondicionados y equipados pueden ser capaces de producir el suficiente caudal destinado a cualquier actividad. La diferencia entre

pozos y sondeos es el diámetro, su profundidad y sobre todo su metodología constructiva (Ver Figura 26).

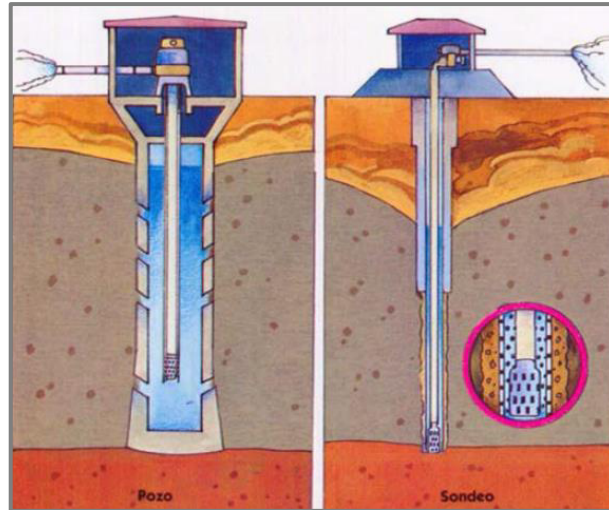


Figura 26: Diferencias entre Pozos y Sondeos (Herrera & Castilla, 2012).



Figura 27: Modelo esquemático del proceso de captación de agua (Herrera & Castilla, 2012).

En la Figura 27 se propone una secuencia de la metodología a seguir para llevar a cabo una perforación de un pozo de agua y posteriormente su explotación (Herrera & Castilla, 2012). Luego de realizar estudios preliminares hidrogeológicos, que nos indiquen la posible existencia de formaciones geológicas capaces de producir agua, sean estos Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) u otro método geoelectrico destinado a la exploración de aguas subterráneas, se procede a la siguiente etapa de Sondeo.



Figura 28: Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), toma de datos en campo.

El sondeo es realizado de forma manual o mecánica (Ver Figura 28), con diámetros inicialmente pequeño entre 4 a 6 pulgadas (dependiendo de las formaciones a atravesar), mediante un sistema de perforación conocido también como pozo exploratorio. Llegado a la profundidad deseada (definida por el SEV), y el muestreo realizado en

la perforación dan las condiciones favorables para la extracción de agua se procede al rimado del pozo; pasando brocas de mayor diámetro sobre el agujero inicial hasta llegar al diámetro de diseño. Terminada la perforación se procede a la introducción de la camisa del pozo (depende esencialmente del diámetro de la bomba sumergible y el espacio anular que ésta debe tener con la camisa), consecuentemente suministrar el empaque de graba. Construido el pozo, se procede con la limpieza y afloración del pozo (Ver Figura 29).



Figura 29: Limpieza y afloración de un pozo de agua terminado de 100 metros de profundidad y 16 pulgadas de diámetro.

A continuación se describe de forma breve la metodología de perforación, donde el equipo comúnmente utilizado en el país, es mecánico a rotación tipo camión. El método se basa en introducir brocas triconos o trepano perforador, mediante la rotación dada por la mesa de rotación, lo cual se lo hace con ayuda de un motor a

combustible. La rotación debe estar en sentido igual al de la unión o enrosque de los elementos que constituyen la sarta de perforación. La elección de la mecha o broca se lo hace conociendo el tipo de formación que puede encontrarse en el subsuelo, de esto dependerá que la broca tenga la dureza adecuada, la velocidad de corte de la formación y el tiempo de servicio de la broca.

Uno de los componentes bases para llevar a cabo este trabajo es el lodo de perforación el cual realiza las siguientes funciones: control de calentamiento de los elementos que constituyen la sarta de perforación, transporta en suspensión el material o ripio resultante del avance de la perforación y una de las funciones más importantes es la formación de una película en la paredes del pozo y la presión que ejerce el fluido para el control de derrumbe de las paredes del pozo. Con la ayuda de bombas de inyección de lodo que son las que empujan hacia el exterior de la superficie los diferentes tipos de material del suelo ripeado. Entre los elementos típicos que permiten este método de perforación están la esa de Rotación, barra giratoria o Kelly, cabezote, tubería liviana de perforación, tubería pesada de perforación, triconos, mechas, bits o brocas de perforación, bomba de lodo, motor y mangueras para el circuito de envío del lodo de perforación.

Finalmente el pozo de agua deberá ser equipado con lo necesario para su correcta utilización y/o explotación del agua subterránea. El equipo de extracción de agua deberá ser elegido cuidadosamente de acuerdo a lo indicado en los estudios hidrogeológicos inicialmente realizados en conjunto con la perforación inicial o pozo exploratorio. Esto determinara parámetros hidrogeológicos fundamentales para su correcto diseño y justificación del proyecto; parámetros hidráulicos del acuífero tales como la transmisividad y coeficiente de almacenamiento.



Figura 30: Perforación de un pozo de 10 pulgadas de diámetro.

No obstante, cabe mencionar que las capacidades hidráulicas del acuífero no solo son los únicos parámetros de importancia en la construcción de un pozo de agua sino también el uso que se le destinará a tal pozo. El agua subterránea tiene minerales disueltos,

producto del contacto con las diferentes formaciones geológicas y que en ciertas concentraciones podrían afectar la salud humana, si ésta es extraída para abastecimiento de poblaciones; consecuentemente pozos de abastecimiento cercanos a zonas de agrícolas con altos índices de uso de agroquímicos, líquidos contaminados pudieren haber llegado a acuíferos superficiales por gravedad (percolación), alterando la calidad del agua subterránea. Por estos motivos, las perforaciones de pozos son de importancia en la investigación hidrogeológica y medioambiental.

2.9. Recursos Hídricos.

A nivel mundial el agotamiento del recurso agua disponible, es cada vez mayor. Factores naturales y principalmente la actividad humana están agotando dicho recurso hídrico, sin embargo en los últimos años la sociedad está prestando la suficiente atención en la mejora de la gestión integral en el manejo de recursos hídricos y la protección del agua. El factor político y el económico tienden estar presentes en todos los ámbitos que comprende la política del agua dando en la mayoría de los casos la falta de atención adecuada a la ciencia y las mejores prácticas en el manejo de éste recurso (GreenFacts, 2006).

América Latina y el Caribe son regiones con mayor abundancia en recursos hídricos. Solo la cuenca del Amazona contribuye al planeta con

un 20% del agua superficial, siendo ésta el suministro principal de agua dulce en el planeta. No obstante la gestión de los recursos hídricos y su protección sigue siendo un desafío; tener conocimiento de captación del agua, la potabilización, la distribución, el drenaje, el reciclaje del agua servida, la calidad de agua en ríos y acuíferos, el control y la mitigación de inundaciones y sequías entre otros son puntos importantes en los cuales no tienen la atención adecuada (Mahlknecht, 2012).

Existen poblaciones que no cuentan con un recurso hídrico superficial o que debido a su consumo excesivo son escasos, tienen como alternativa los recursos hídricos subterráneos, en ocasiones el único suministro de agua para el consumo y sus diferentes aplicaciones (Rubio, Sánchez, Camacho, & Geta, 2000). El agua subterránea, generalmente más segura que las aguas superficiales enfrentan a un sinnúmero de graves amenazas que afectan al deterioro de su calidad siendo sus principales contaminantes lo siguientes: materia orgánica y los organismos patógenos (por lo general en menor grado en aguas subterráneas), contaminantes de origen industrial, domésticos, fertilizantes y pesticidas que proceden en áreas netamente agrícolas (GreenFacts, 2006). Estas fuentes de contaminación se traducen en la práctica como disposición en el suelo de efluentes de desechos de agua, lodos, desechos sólidos, efluentes de tanques sépticos y escurrimientos urbanos, uso inadecuado de productos agroquímicos (Ramírez Flores, Robles Valderrama, Ayala

Patiño, & Martínez Rodríguez, 2012). Cuando la población depende únicamente de las actividades agrícolas, se debe tener plena conciencia de una posible contaminación por productos químicos a los recursos hídricos subterráneos, pudiendo producir efectos agudos o crónicos y la aparición de enfermedades (Rubio, Sánchez, Camacho, & Geta, 2000).

Una de las formas de extracción de aguas subterráneas es mediante la perforación de pozos, en una medida de sobreexplotación de los acuíferos estos se pueden secar, de tal manera que el nivel freático cae por debajo de la profundidad inicial en su estado natural (Rubio, Sánchez, Camacho, & Geta, 2000). De tal manera que se tendrá que aumentar la profundidad de los pozos para captar acuíferos más profundos, destinando así el consumo cada vez mayor de estos recursos subterráneos debido a su extracción excesiva, en ocasiones la falta de profesionalismo en el estudio de los acuíferos como por ejemplo su capacidad de almacenamiento, hacen que en ocasiones se usen bombas sumergibles de gran potencia facilitando así el desgaste de este recurso en un tiempo menor. La ubicación de las bombas sumergibles dependerá del diseño del pozo así como también de la productividad de los acuíferos (BRIÈRE, 2005), como ya se vio en la parte de captación de aguas subterráneas literal 2.8.2.

Para seguir abasteciendo a una población es necesario dejar recuperar el acuífero durante periodos de tiempo. El bombeo de los acuíferos debe

ser controlado teniendo en cuenta la gran capacidad de almacenamiento que tienen los mismos, que en conjunto con las aguas superficiales se debe planificar y garantizar el suministro del agua, de tal manera se asegura que el acuífero siga siendo productivo, mejorando así la calidad de vida de la población y conservando el medio ambiente (Rubio, Sánchez, Camacho, & Geta, 2000).

En el siguiente gráfico se presenta un esquema del uso del agua subterránea en la cual se incluye captación, tratamientos y consumo.

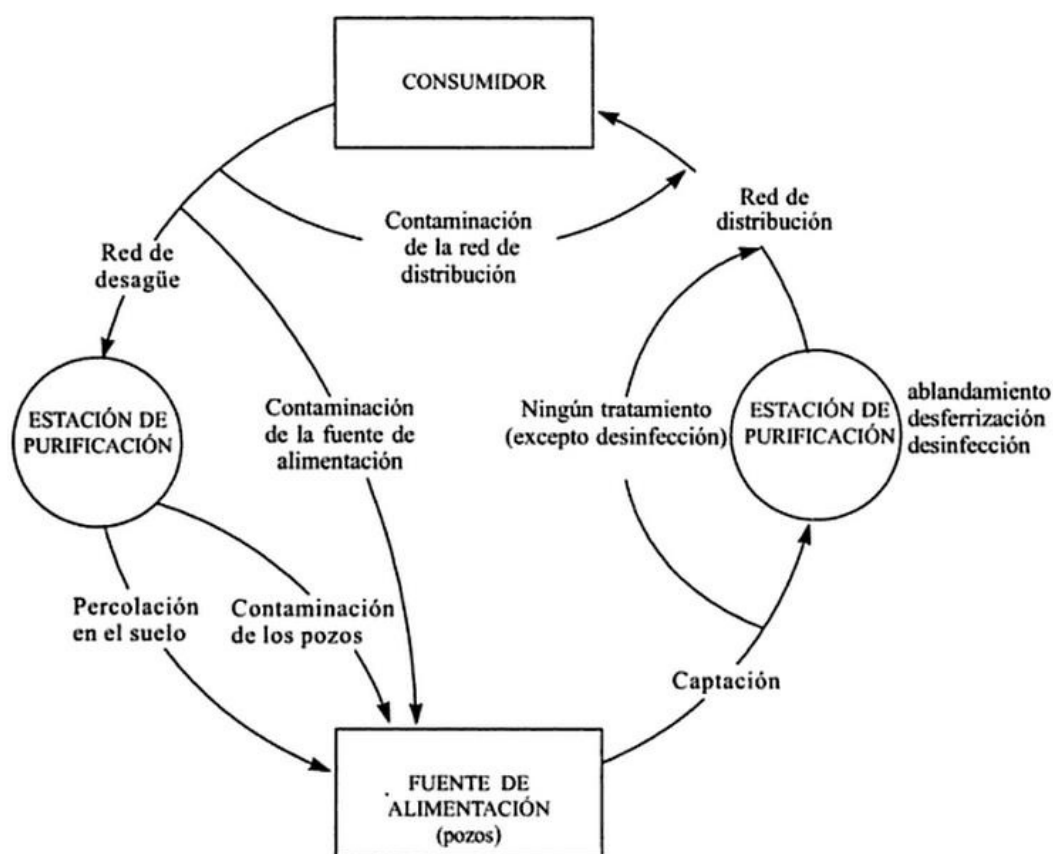


Figura 31: Ciclo de utilización de las aguas subterráneas (BRIÈRE, 2005).

Para estimar el comportamiento de los acuíferos, que necesariamente deben realizarse a fin de una explotación del recurso subterráneo y para proteger su futuro, se debe tener en cuenta (COASTMAN, 2013):

- Medir el caudal del pozo por aforo con un volumen conocido y cronómetro para medir el tiempo.
- Medir los descensos y/o variaciones de los niveles estáticos y dinámicos, dentro del sondeo. Cuando el pozo está en reposo (nivel estático) se puede conocer el almacenamiento y el tipo de acuífero.
- Equipos portátiles para medir la conductividad: Este equipo sirve para reconocer la calidad del agua a valores cercanos o no del residuo total de sales del agua del pozo.

Es importante tener conocimiento de las reservas alternativas que tiene un país; cuantificar los sistemas de aguas subterráneas de manera que sepamos su disponibilidad, cantidad, calidad, sus condiciones hidrológicas y su grado de explotación para su aprovechamiento.

2.10. Recursos hídricos en el Ecuador.

Ecuador es un país rico en recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos, se encuentra localizado al Noroeste de América del Sur, geográficamente ubicada entre las coordenadas: 1°28'39" de Latitud

Norte; 5°01'00" de Latitud Sur; 75°11'49" de Longitud Este y 81°00'37" de Longitud Oeste (Agrytec, 2011). En comparación al tamaño con otros países tiene mayor diversidad y disponibilidad de recursos naturales, que pueden ser aprovechados para el sustento de la población; recursos que se distribuyen de manera irregular en todo el territorio ecuatoriano. Estos recursos hídricos provienen principalmente de aguas lluvias, escurrimiento superficial de ríos y fuentes de aguas subterráneas (Ros, 1995). Según la (FAO O. d., 2000) la precipitación media anual es de 2 274 mm, es decir 645 km³/año en todo el territorio del país.

El sistema hidrográfico está determinado por la localización de la Cordillera de los Andes, atravesando al territorio nacional de Norte a Sur; dividido en 31 sistemas Hidrográficos, conformados por 79 cuencas. Estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas que naciendo en los Andes drenan hacia el Océano Pacífico en un número de 24 cuencas, la cual representan 123.243 Km², con un porcentaje de superficie del territorio nacional de 48,07%. Además de las aguas superficiales; las aguas subterráneas no suficientemente explotadas, son fuentes significativas de importantes en el país, siendo las zonas de entre el río Babahoyo, Golfo de Guayaquil y las estribaciones de la Cordillera de los Andes con gran abundancia de este recurso, en cantidad y calidad. En algunos valles interandinos como los de Quito, Cayambe y Machachi también con fuentes de agua subterránea

considerables (Ros, 1995). La mayoría de las poblaciones se han desarrollado en las cercanías de ríos u otras fuentes de agua, que han sido de utilidad para el abastecimiento doméstico así como también en el desarrollo de industrias. Por mucho tiempo cuerpos de agua como los ríos han sido utilizados como receptores de aguas servidas, en mucho de los casos sin control alguno. De los 221 cantones del país, se estima que 19 tienen algún tipo de tratamiento en sus aguas servidas antes de ingresar a un cuerpo de agua receptor. La mayoría de los ríos cercanos a las áreas urbanas, tienen altos niveles de coliformes, DBO, nitrógeno y fósforo. Las áreas más contaminadas están presentes en Guayaquil, específicamente los ríos Daule y Babahoyo. La cuenca más importante es la del río Guayas, representado un 40.4% de la superficie regable dentro del país (Agrytec, 2011).

La explotación de aguas subterráneas en Ecuador tiene generalmente fines de consumo doméstico e industrial (FAO O. d., 2000). Para el recurso hídrico subterráneo, en la vertiente del pacífico (Ver Tabla IX) se estima 10,4 km³/año. Además el 60% del agua que se distribuye a la población no es potable y el 90% de agua es destinada para el riego, lo cual representa aproximadamente 12.000 m³/ha/año.

Se estima que 3.136.000 ha de agua están destinadas para cultivo y riego de los cuales aproximadamente un 93% está ubicado sobre la vertiente del pacífico y el 7% sobre la vertiente amazónica. Una

estimación de la demanda actual del abastecimiento del agua en el país es de 700 Hm³/año, es decir una dotación de aproximada de 180 l/hab/día. (RAMIREZ & CUENCA).

Tabla IX: Vertientes en el Ecuador.

Descripción	Pacífico	Amazonas	Islas Galápagos
Principales cursos hídricos	Guayas, Esmeraldas y Loja	Napo, Morona Santiago y Pastaza	-----
Superficie drenada (Km ²)	121.279,0	139.634,0	8.006,0
Precipitación media anual (mm)	1.543,0	3.006,0	600,0
Escorrentía media anual (mm)	950,0	2.256,0	197,0
Evaporación media anual (mm)	593,0	750,0	403,0
FUENTE: (FAO O. d., 2000).			

2.11. Recursos hídricos en el Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan).

El cantón Jujan al formar parte de la provincia del guayas, de las tres regiones climáticas, esta pertenece a la región costa la cual representa el 25% del territorio nacional con estación húmeda en la primera mitad del año desde Enero hasta Abril, concentrándose aproximadamente el 80 % de la lluvia y una estación seca en la segunda mitad (FAO O. d., 2000).

El Cantón Alfredo Baquerizo Moreno está ubicado en la parte baja de la cuenca del río guayas. Por ende el área urbana esta propensas a

inundaciones en época invernal durante la primera mitad del año (Ver Tabla X) y a desbordamientos de los ríos Jujan, Amarillo y Chilintomo, afectando al 68% del Cantón (Ver figura 32). Además, el sistema de alcantarillado no es el adecuado, evitando en ocasiones el flujo de agua. El crecimiento poblacional en estas áreas no ha sido del todo considerable en comparación a otros cantones de la provincia del guayas (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014), debido a las condiciones del suelo y al costo que implicaría mejorar las condiciones del mismo para la construcción de viviendas.

Tabla X: Zona inundable en Alfredo Baquerizo moreno (Jujan).

Urbano/Rural	Área(m2)	Porcentaje
Área inundable	154913367,5	68%
Área no inundable	72279655,77	32%
Total	227193023,3	100%

Fuente: GAD Alfredo Baquerizo Moreno 2014.

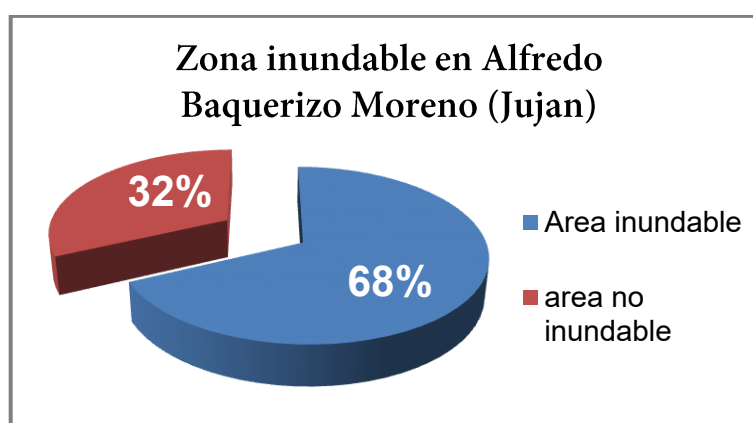


Figura 32: Representación gráfica de zona inundable en el Cantón Alfredo Baquerizo Moreno (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

2.12. Componentes mineralógicos del agua subterránea.

El tiempo de permanencia del agua en los diferentes reservorios de almacenaje juega un papel de mucha importancia en la composición mineralógica. El agua en el subsuelo pueden permanecer bajo el suelo de días a decenas de miles de años o más (LaBaugh, 2009). De hecho, el agua por naturaleza es un disolvente fuerte, debido a esto, el agua que se encuentra en el subsuelo no es pura. Incluso el agua lluvia y otras formas de agua que precipitan contienen sustancias disueltas que en algunos casos no pueden ser despreciables (Werner, 1996). La formación de las aguas subterráneas se debe a procesos de infiltración a través del suelo; en su mayor parte de aguas lluvias, que esta su vez fluye en formaciones geológicas subyacentes arrastrando consigo materia mineral (Candela & Morell, 2009). Conforme el agua se infiltra a través del suelo esta va reaccionando químicamente con los minerales contenidos en el mismo, su química es alterada por un sinnúmero de procesos geoquímicos teniendo en cuenta además su tiempo de permanencia en el acuífero. El resultado de esta interacción es agua subterránea con mayor contenido mineral, es decir, con mayor contenido de concentraciones químicas disueltas de las que estuvieron presente en el agua lluvia antes de entrar al subsuelo (LaBaugh, 2009).

El contenido de minerales en el agua subterránea dependerá básicamente de los siguientes factores (Werner, 1996):

- La temperatura del agua.
- La solubilidad de los minerales.
- El tiempo de contacto entre agua y formación geológica.
- La superficie de contacto.
- La concentración de sustancias ya disueltas.
- El pH.
- El potencial redox.

La mayoría de las sustancias presentes en las formaciones geológicas se disuelven en el agua subterránea en forma de iones, los cuales se verán claramente afectadas por los factores antes mencionados. De manera de ejemplo el aumento de la temperatura en algunas sustancias mejora su solubilidad. Estas impurezas disueltas en el agua son conocidas también como sales inorgánicas (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). En el proceso de infiltración, cuando el agua subterránea se encuentra presente en suelos ricos en materia orgánica, estos pueden disolver cantidades considerables de dióxido de carbono producido por la descomposición microbiana de la materia orgánica, por respiración de las raíces y cualquier otro tipo de minerales carbonatados (Huguet, 2005).

El agua subterránea suele estar menos contaminada al circular por formaciones sin consolidar como grava, arena, arcillas, las rocas. Al contrario, en macizos rocosos calcáreos, yesos, rocas permeables

fracturadas, las aguas son más salinas y la cantidad de iones en el agua es mayor, por ende suelen ser más contaminadas.

No todas las sustancias se presentan en las mismas cantidades, por lo cual se ha predeterminado en diferentes constituyentes (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005):

- **Constituyentes principales.**

Suelen estar en aguas subterráneas en concentraciones que van de 1 a 1000 ppm. Entre los cuales están el Calcio Ca^{++} , Magnesio Mg^{++} , Sodio Na^{+} , Potasio K^{+} y Amoniacó NH_4^{+} en el grupo de cationes; Cloruros Cl^{-} , Sulfatos $\text{SO}_4^{=}$, Nitratos NO_3^{-} y Bicarbonatos HCO_3^{-} en el grupo de los aniones. Otros como el dióxido de Carbono CO_2 , Oxígeno Diatómico O_2 y el Dióxido de Silicio SiO_2 .

- **Constituyentes secundarios.**

Presentes con menor frecuencia en concentraciones que van de 0.01 a 10 ppm. Entre los cuales están el grupo de los cationes incluido el Hierro Fe^{++} , Estroncio Sr^{++} , Litio Li^{+} , Manganeseo Mn^{++} , Zinc Zn^{++} y el grupo de los aniones incluido Carbonatos $\text{CO}_3^{=}$, Nitritos NO_2^{-} , Bromuros Br^{-} , y Fluoruros F^{-} .

- **Constituyentes menores.**

Presente de forma casual o accidental en aguas subterráneas, en concentraciones que van de 0.0001 a 0.1 ppm. Elementos como

el Aluminio Al^{+++} , Titanio Ti^{+4} , Cobalto Co^{++} , Cobre Cu^{++} , Plomo Pb^{++} , Níquel Ni^{++} , Cromo Cr^{+++} , etc.

Todos estos constituyentes disueltos se incorporan al agua dependiendo en dónde se encuentre alojada (reservorios) y la interacción con el medio por donde fluye. En agua subterránea, las sustancias que ésta contenga dependerán de la formación geológica por donde circule y su tiempo de permanencia hasta llegar a una zona de descarga. De la misma manera podrían producirse cambios en la química natural del agua subterránea, al estar en un ambiente diferente, los cuales podrían resultar beneficiosos o perjudiciales para la salud (Vera, 2012).

Minerales como el ion Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} a menudo aparecen con frecuencia en cuerpos hídricos subterráneos; desde el punto de vista médico estos minerales son buenos para el rendimiento físico pero como todo exceso puede tener consecuencias para la salud. El ion Ca^{++} es un elemento importante en la dieta diaria para las personas, pudiéndolo obtener no solo de productos lácteos sino también del agua; el aumento Na^{+} en la dieta diaria contribuye al desarrollo de hipertensión; en tanto, el ion Mg^{++} contribuye a una disminución de la muerte súbita (Martínez-Ferrer, Peris, Reyes, & Guañabens, 2008).

Las concentraciones de las sustancias disueltas en el agua se determinan únicamente con un análisis químico del agua. Se debe poner

la debida atención a los procesos de interacción de agua con los medios, puesto que el agua subterránea en la actualidad es el principal recurso hídrico para el uso cotidiano del hombre.

2.13. Contaminación del agua.

La contaminación es la introducción de sustancias en un medio, lo cual provoca que este sea inseguro y no apto para su uso, de tal manera que cualquier otra cosa que no sea agua es considerada impureza (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Se pueden diferenciar dos tipos de contaminación; Contaminación Natural y Contaminación Artificial (Antropogénica). Siendo la contaminación artificial la de mayor incidencia en el deterioro de los cuerpos hídricos (Blancas Cabello & Hervás Ramírez, 2001). El crecimiento geométrico de la población en el mundo, las actividades domésticas y agrícolas, la industrialización y civilización moderna, y otros geológicos, el cambio climático en el planeta, la contaminación del agua tanto superficial como subterránea está continuamente incrementándose día a día (Gupta & Ali, 2013). La utilización excesiva de los recursos disponibles por la humanidad ultimadamente están arruinando y contaminando los cuerpos de agua que nos sirven como recursos de agua potable, incluyendo ríos, lagos, pozos, y manantiales (Sharma, Gulati, & Puri, 2014). La composición química del agua subterránea está siendo influenciada principalmente

por la introducción de químicos, tales como residuos de pesticidas, aceites, fenoles, disolventes, y metales, dentro del medioambiente. Así como también, las actividades humanas que introducen químicos a la atmosfera contribuyen a la composición química del agua subterránea mediante la disposición atmosférica sobre la superficie de la tierra y la infiltración al nivel freático (LaBaugh, 2009). Existen contaminantes que se pueden considerar peligrosos cuando su concentración alcanza niveles no deseados en el agua, resultando dañinos para la vida acuática y personas que la utilicen como agua potable. (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Aproximadamente el 70 % del agua dulce se destina a la agricultura según el Departamento de información pública de las naciones unidas (DPI, 2002). Miles de kilómetros cuadrados de cultivos en el mundo son rociados con sustancias tóxicas que contienen cloro, fosforo y mercurio; de igual manera el uso excesivo del abono para la fertilización, generan problemas de eutrofización, es decir, que se está dando un enriquecimiento masivo de nutrientes al ecosistema (Zambrano, 2010).

Cuando se determina un punto específico de contaminación, como por ejemplo contaminación por medio de un pozo profundo; viendo desde la superficie de la tierra el movimiento de un producto químico a través del subsuelo, es una pluma en movimiento desde el punto de mayor concentración al de menor concentración en el campo del flujo de agua

subterránea (Ver Figura 33), a lo largo de la dirección del flujo (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

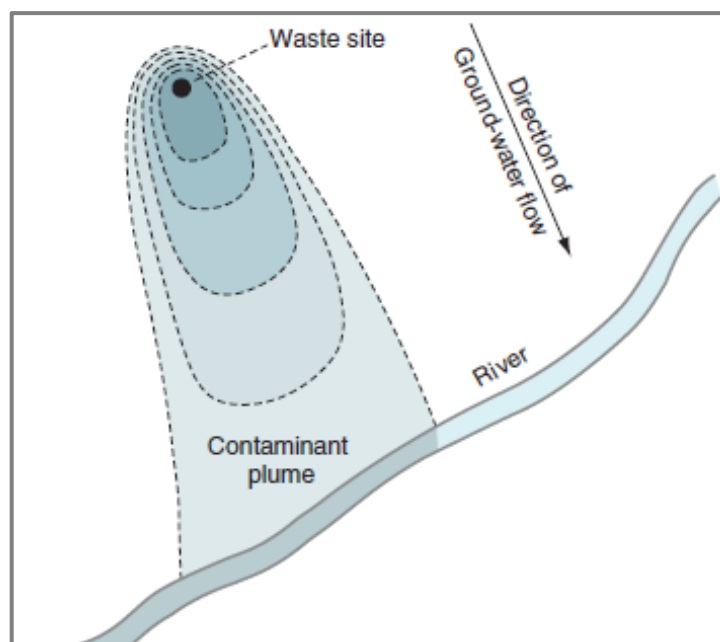


Figura 33: Una representación simplificada de una pluma contaminante. El transporte de la contaminación de una fuente puntual de las aguas subterráneas puede causar contaminación de aguas superficiales, así como una extensiva contaminación de las aguas subterráneas (LaBaugh, 2009).

El agua subterránea y superficial están interconectados de manera que si existe una fuente contaminante en el agua subterránea, el agua superficial corre el riesgo de contaminarse (LaBaugh, 2009). Debido al flujo lento de las aguas subterráneas, la contaminación de los acuíferos tardan y la recuperación del sistema es posible cuando se ha detectado el contaminante a tiempo, caso contrario el lavado de un acuífero puede exigir un planeamiento de su regeneración inviable. (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

2.14. Contaminantes Orgánicos e Inorgánicos.

La contaminación de los recursos hídricos se puede dar de múltiples maneras; cada tipo de contaminante tiene su propia manera específica de entrar en el medio ambiente. Existen diferentes tipos de químicos que son considerados contaminantes y el peligro que representan si estos sobrepasan en concentración el umbral deseado. (Sharma, Gulati, & Puri, 2014), dividen a los contaminantes en varias clases, origen de procedencia del contaminante y sus peligros. Son los siguientes:

2.14.1. Contaminación orgánica del agua.

Hay muchas formas de contaminación orgánica entre las cuales destacan los siguientes:

- **Petróleo crudo y varios derivados del petróleo**, incluyendo la gasolina, el diésel, el queroseno, aceites lubricantes para motores y combustibles para aviones. Estos compuestos son más ligeros que el agua y por lo tanto siempre separándose del agua en una capa sobre la superficie del agua, formando un lustre de “producto libre”. Sin embargo parte de estos compuestos se disuelven en el agua y se filtran al ecosistema acuático, siendo imperceptibles a la vista y causando efectos nocivos en los organismos marinos.

- **Disolventes clorados**, incluye el tricloroetileno, percloroetileno, tricloroetano, tetracloruro de carbono y freones. Son más densos que el agua, por lo tanto logran penetrarla, siendo bastantes persistentes y tóxicos. No pueden ser visibles a la vista en comparación con los derivados del petróleo que se ven fácilmente como brillos en la parte superior de la superficie del agua.
- **Otros disolventes orgánicos y químicos**, tales como acetona, metil cetona; y alcoholes tales como etanol, isopropanol; o compuestos oxigenados tales como metil terc-butil éter.
- **Subproductos de desinfección**, se encuentran en el agua potable desinfectada químicamente, tales como cloroformo.
- **Residuos de procesamiento de alimentos**, incluyen sustancias que necesitan oxígeno, mantecas y grasas.
- **Perclorato**, sales de perclorato son usadas en combustible para cohetes, fuegos artificiales, explosivos, bengalas, bolsas inflables, etc. Aunque estos contaminantes generalmente son asociados con bases militares y obras de construcción cuando se usan explosivos, en formaciones naturales en zonas resacas también pueden encontrarse su presencia en el agua.
- **Trihalometanos**, son generalmente los subproductos de la cloración del agua y pueden contaminar las aguas subterráneas y superficiales por medio de las fugas que pueden existir en las

líneas de drenaje. Ejemplos de tales compuestos son cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano, y bromoformo.

- **Plaguicidas / insecticidas / herbicidas**, comprenden un gran número de productos químicos que entran en el agua debido a actividades agrícolas, directamente rociando sobre grandes áreas o indirectamente por las escorrentías agrícolas. El insecticida diclorodifeniltricloroetano (DDT) es un ejemplo típico de este tipo de contaminante.
- **Bifenilos policlorados (BCPs)**, a pesar de su reciente prohibición su omnipresencia ambiental, generalmente hace de estos contaminantes asociarse con las escorrentías urbanas.
- **Antibióticos** u otros productos farmacéuticos.

2.14.2. Contaminación Inorgánica del agua.

Esta contaminación se da por parte de los desechos que no presentan un origen biológico, entre los cuales destacan los siguientes:

- **Metales y otros compuestos**, los riesgos de salud más altos se deben a los compuestos organometálicos, que se forman cuando los metales y los compuestos orgánicos reaccionan en el agua. Los ejemplos más comunes en el envenenamiento del agua incluye al Mercurio (Hg), Arsénico (As) y al Cromo (Cr).

- **Fertilizantes inorgánicos**, algunos contaminantes inorgánicos no son tóxicos, pero aún siguen siendo una amenaza para el medio ambiente debido a que ellos son usados tan ampliamente. Estos incluyen a los fertilizantes, tales como nitratos y fosfatos. Los nitratos y fosfatos causan la proliferación de algas en las aguas superficiales disminuyendo el nivel de oxígeno en el agua. En últimas instancias, esto da lugar a la falta de oxígeno debido al consumo del mismo por microorganismos que descomponen las algas. A esto se lo denomina eutrofización.
- **Acidez**, esto es causado por descargas industriales, especialmente dióxido de azufre proveniente de las plantas, etc.

2.15. Tipos de contaminación del agua.

Existen dos formas de contaminar el agua subterránea:

2.15.1. Contaminación puntual.

Se refiere a una fuente específica que generalmente descargan aguas residuales continuamente, es decir, que el agua puede ser medida, tratada y controlada de tal manera que cumpla las normativas vigentes, evitando así incumplimientos que pudieran causar exceso de contaminación a los cuerpos receptores (Ver Figura 34).

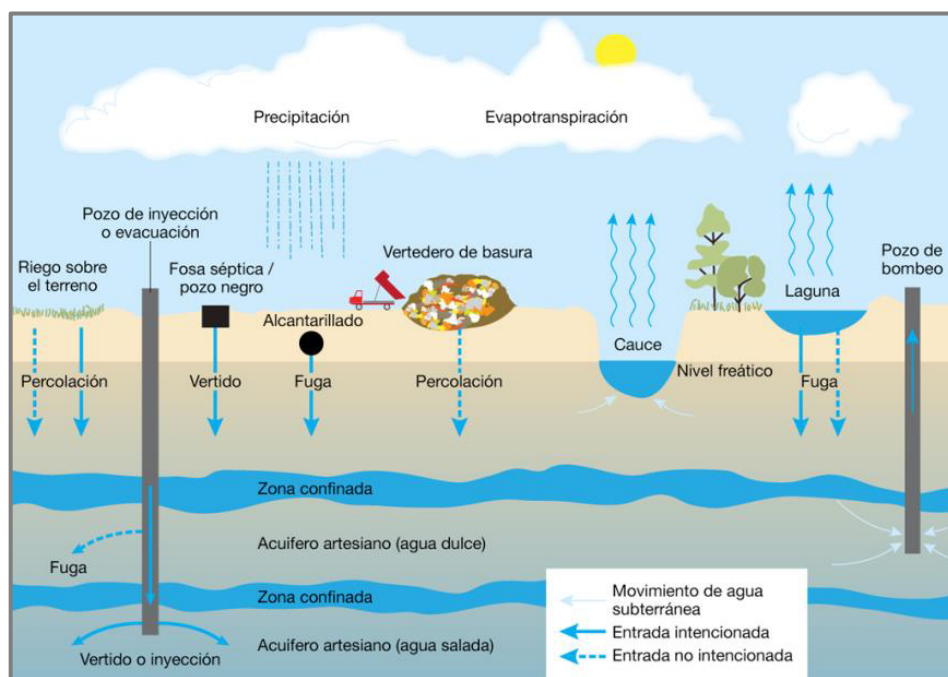


Figura 34: Contaminación de diferentes tipos de acuíferos por la actividad humana siendo una de las principales causas la percolación (Vera, 2012).

Los vertederos de residuos sólidos urbanos suelen ser un foco puntual de contaminación de acuíferos, debido a la gran acumulación de materia orgánica y de otra variedad de compuestos (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005). Las principales fuentes de contaminación del agua puede atribuirse a las descargas sanitarias sin tratamiento, residuos tóxicos industriales, etc. (Sharma, Gulati, & Puri, 2014).

2.15.2. Contaminación difusa.

No tiene una fuente específica y está asociada a actividades como la agricultura, ganadería, urbanizaciones, pastoreo, entre otras actividades que se desarrollen en grandes extensiones de terreno.

Esta proviene del agua que escurre sobre el suelo, en muchas ocasiones producto de la lluvia, es decir que disuelve y acarrea contaminantes producidos por el hombre tales como productos químicos de zonas agrícolas, excremento de actividades pecuarias, aceites y desechos por desgaste de vehículos en el área urbano. Los metales pesados pueden acumularse al punto de llegar a ser tóxicos para la vida de las plantas, animales o seres humanos, que puedan alimentarse de estas plantas (MORANTE CARBALLO, 2014). A continuación en la siguiente tabla se muestra las concentraciones de materiales solubles que generalmente se encuentran en los acuíferos.

Tabla XI: Materiales solubles en los suministros acuíferos.

Componentes primarios, generalmente en más de 5 mg/L	Bicarbonato, calcio, cloruro, magnesio, materia orgánica, sílice, sodio, sulfatos, sólidos disueltos totales
Componentes secundarios, generalmente en más de 0,1 mg/L	Amoniaco, Borato, fluoruro, Hierro, Nitrato, Potasio, Estroncio
Componentes terciarios, generalmente en más de 0,01 mg/L	Aluminio, Arsénico, Bario, Bromuro, Cobre, Plomo, Litio, Manganeso, Fosfato, Zinc
Componentes superficiales, generalmente en menos de 0,01 mg/L	Antimonio, Cadmio, Cromo, Cobalto, Mercurio, Níquel, Estaño, Titanio

FUENTE: (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

El hierro y manganeso en las fuentes de abastecimiento de agua, están presentes de forma soluble ya sea por la oxidación debido a tratamientos de cloración o al entrar en contacto con el oxígeno del

aire. Esto provoca que el agua adquiera un color oscuro, de manera que a la vista de los consumidores es rechazada. Además provoca también manchas en la ropa, obstrucciones de tuberías, accesorios y bombas que frecuentemente son usadas por los habitantes del Recinto Tres Postes, para el abastecimiento de sus familiares (OPS/OMS, 2005).

2.16. Causas más comunes de contaminación.

De las actividades humanas que producen contaminación pueden resumirse en (LENNTECH W. T., 2015):

- Infiltración de nitratos y abonos químicos empleados en la actividad agrícola.
- Productos químicos usados en los hogares tales como detergentes, productos de limpieza, pilas (Contenido de mercurio), insecticidas.
- Cercanía a pozos sépticos cuyo sistema sea defectuoso generando altos contenidos de nitratos siendo perjudiciales especialmente a niños, causando enfermedades como el síndrome de bebe azul. Enfermedad producida por la falta de oxigenación lo que conlleva a esta coloración de piel.

- Vertederos de basura, debido al contenido variable de restos orgánicos, metales, pinturas, pañales entre otras sustancias consideradas indeseable, tóxicas y perjudiciales.
- Pozos construidos inadecuadamente o abandonados.
- Descargas de compuestos orgánicos industriales, tales como disolventes, pesticidas, pinturas, combustibles, etc.

2.17. Contaminación del agua por la agricultura.

La mayoría de los problemas hídricos no parecen estar directamente relacionados con el sector agrícola. Sin embargo, esta actividad es la que absorbe la mayor cantidad de agua a nivel mundial. Más de las dos terceras partes del agua extraída de los ríos, lagos y acuíferos del mundo se utilizan para el riego (FAO D. d., 1993). Ante el aumento de la competencia, los conflictos, la escasez, el desperdicio, la utilización excesiva y la degradación de los recursos hídricos.

Las zonas agrícolas contaminan las aguas subterráneas, debido a la aplicación de grandes cantidades de abonos orgánicos, abonos químicos y plaguicidas en el terreno (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005). El riego es un componente fundamental y necesario para elevar la productividad, cuando las tierras de cultivo requieren altos niveles de insumos para mantener el rendimiento, la seguridad y eficiencia de la producción de regadío (FAO D. d., 1993).

La aplicación de fertilizantes nitrogenados, es una de las opciones que sirve como suplemento para las necesidades de nutrientes en el crecimiento de las plantas. Estos nutrientes presentes en el suelo son absorbidos por las plantas y en ocasiones, la proporción de nutrientes absorbidos con respecto al volumen aplicado comienza a decrecer, de tal manera que hay una parte no absorbida que se encuentra en el suelo de forma soluble y puede ser arrastrado hacia el acuífero por el movimiento descendente del agua en la zona no saturada (MILIARIUM, 2008).

La contaminación en la actividad agrícola se debe a muchos factores:

- Tipos de fertilizantes y plaguicidas empleados en el medio.
- Forma de riego.
- Método de laboreo.
- Características del suelo y del tipo de cultivo.
- Clima.

Actualmente en la agricultura no existen altos rendimientos de producción sin medidas de protección para las plantas, por tal motivo los plaguicidas tienen una participación considerable en el medio (Ver tabla XII). En el mercado existen productos extremadamente tóxicos tales como bromuro de metilo, órgano-fosforados, entre otros productos nocivos que requieren de un manejo cuidadoso para no afectar la salud de las poblaciones, y el medio ambiente. Además Los plaguicidas que se

filtran pueden envenenar una zona muy vasta e inutilizarla, sin contar con la descomposición de los mismos, donde sus derivados pueden resultar más tóxicos que la sustancia origen. (Farrera, 2004).

Tabla XII: Clasificación de los plaguicidas según la naturaleza química.

Tipo	Características
Inorgánicos	Su fabricación son derivados de metales como Cobre, Plomo, Arsénico
Vegetales	Extraídos de diversas partes de vegetales
Órganosintéticos	Sintetizados por el hombre en laboratorios, tales como organoclorados, organofosforados y carbonatos
Microorganismos vivos	Virus, bacterias y hongos usados en el control biológico de plagas

Fuente: (Fernández & Mancipe, 2010).

Referente al lugar de investigación, el Cantón Jujan, cuenta con una superficie total de 22249.06 hectáreas, de los cuales el 61.09% corresponde a cultivos de arroz, siendo este uno de los principales cultivos de importancia (Ver tabla XIII). A pesar del riesgo de estar en zona de inundaciones, cuentan con una alta productividad en la agricultura, aprovechando el acarreo del agua durante el invierno y el trabajo en sembríos tales de la época como es el arroz y en verano cultivos de soya. En zonas donde no es fácil el acceso para el riego, los agricultores optan por construir pozos profundos.

Tabla XIII: Clasificación del uso de tierras Cantón Alfredo Baquerizo Moreno.

Uso de la tierra	Área (ha)	%
Arroz	13.592,37	61,09
Banano	492,91	2,22
Cacao	4.000,85	17,98
Caña	2.035,02	9,15
Cementerio	2,36	0,01
Centros poblados	84,24	0,38
Ciudades	40,44	0,18
Gasolinera	1,60	0,01
Piladora	11,62	0,05
Maíz	0,41	0
Misceláneo indiferenciado	98,64	0,44
Pasto cultivado	976,95	4,39
Rio doble	78,82	0,35
Soya	702,33	3,16
Tabaco	128,82	0,58
Mango	1,68	0,01
Total	22.249,06	100
Fuente: GAD Alfredo Baquerizo Moreno 2014.		

Uno de los sistemas de fumigación con los que cuenta el recinto para la protección de los sembríos, son fumigaciones aéreas debidas a propietarios de bananeras, afectando así el aire y las aguas superficiales. Entre los Recintos afectados están Tres Postes, Cinco de Julio, La Represa, La Semira, 24 de Mayo, Los Amarillos, Manuel Wolf,

Villa Mercedes, Javilla, Miraflores, La Rinconada, Nueva Alianza, Rancho de Piedra, La cabaña, San Antonio y El tránsito (GAD Alfredo Baquerizo Moreno, 2014).

Debe estar claro que la vulnerabilidad de los recursos hídricos hoy en día es alarmante, la tasa de contaminación de estos recursos cada vez es más alta trayendo consigo el deterioro de los mismos, y sobre todo un riesgo para la vida acuática y la salud humana. El uso del agua subterránea como fuente de abastecimiento a poblaciones hace que éste adquiera su debida importancia. Sin embargo, no tiene una atención adecuada en cuanto al área de investigación y la falta de una infraestructura específica, puntos vitales antes de distribuir el agua para su consumo.

Por lo general el agua subterránea tiene la transparencia necesaria, con lo cual se podría pensar que su calidad es óptima y está lista para su consumo, puesto que por procesos naturales esta ya ha sido filtrada a través de los subsuelos porosos por donde ésta fluye. Existen componentes orgánicos e inorgánicos imperceptibles a vista que en concentraciones superiores al umbral deseable pueden acarrear un alto riesgo para la salud. A continuación se puede observar ciertos componentes y posibles efectos sobre la salud al superar los límites máximos permisibles:

Tabla XIV: Efectos a la salud humana debido a la exposición con ciertos contaminantes presentes en el agua potable.

Contaminante	Efectos sobre la salud
Turbidez	Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades. Provocan síntomas como náuseas, calambres, diarrea y dolores de cabeza.
Coliformes totales	No constituyen una amenaza para la salud; Indican la presencia de otras bacterias nocivas.
Nitrito y Nitrato	Los bebés menores de 6 meses podrían enfermarse gravemente; si no se les da tratamiento, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).
Arsénico	Lesiones en la piel o trastornos en los sistemas circulatorios; puede aumentar el riesgo de padecer de cáncer.
Bario	Aumento de presión arterial.
Berilio	Lesiones intestinales.
Cadmio	Lesiones renales
Cianuro	Lesiones al sistema nervioso o problemas de tiroides.
Cobre	Exposición a corto plazo; dolores gastrointestinales. Exposición a largo plazo: daño del hígado o riñón.
Flúor	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados.
Selenio	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de los dedos de manos y pies; problemas circulatorios.
Benceno	Anemia; reducción en el número de plaquetas sanguíneas; mayor riesgo de padecer de cáncer.
Benzo-a-pireno	Dificultades para la reproducción; mayor riesgo de padecer de cáncer.
Clordano	Problemas del hígado o del sistema nervioso; incrementa el riesgo de cáncer.
2,4-D	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.
2,4,5-TP	Trastornos hepáticos.
Endrina	Trastornos hepáticos.
Heptaclorepóxido	Daño hepático; mayor riesgo de padecer de cáncer.

Lindano	Trastornos hepáticos o renales.
Metoxicloro	Dificultades para la reproducción.
Toxafeno	Problemas renales, hepáticos o del sistema nervioso central; mayor riesgo de padecer de cáncer.
Tricloroetano	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.
Fuente: (Dozier & McFarland, 2006)	

2.18. Medida de elementos disueltos en el agua.

El agua subterránea en la naturaleza no se encuentra en estado puro y esto se debe a los elementos contenidos en solución, tales como orgánicos e inorgánicos, gases como oxígeno y dióxido de carbono.

A la cantidad de un determinado elemento que se encuentra disuelto en el agua se lo conoce como concentración y puede ser expresado como (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005):

- **Peso del soluto en peso de disolvente.**

Expresado en partes de soluto en un millón de partes de disolvente (ppm) o para bajas concentraciones expresado como partes de soluto en un billón de partes de disolvente (ppb).

- **Peso de soluto en volumen de disolvente.**

Expresado en mg/L, puesto que en un litro de agua destilada a 4 grados Celsius pesa 1000000 mg. Normalmente usada hasta concentraciones alrededor de 7000 mg/L.

$$1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$$

- **Molaridad.**

Expresada en número de moles de soluto en un litro de disolución y se lo determina de la siguiente manera:

$$N.^\circ \text{ moles} = \text{Peso soluto} / \text{Peso molecular soluto (g/g)}.$$

- **Normalidad.**

Esta medida expresa el número de equivalentes gramo en un litro de disolución.

$$N.^\circ \text{ Equivalentes} = \text{Peso soluto} / \text{Peso molecular soluto (g/g)}.$$

$$\text{Peso equivalente} = \text{Peso molecular} / \text{Valencia (g)}.$$

- **Molalidad.**

Expresa el número de moles de soluto en 1000 g de disolvente.

2.19. Calidad del agua.

El término calidad de agua es el conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos tales como: consumo, riego, ganadería, recreación, industria, entre otros, es decir, que el tratamiento dependerá netamente del uso (DPI, 2002). De hecho cuando se habla de calidad de agua, inmediatamente pensamos en lo complejo del asunto y la problemática a nivel mundial al que está expuesto tal recurso.

El recurso agua está siendo contaminada a velocidades exponenciales. A pesar de que se trata de un líquido esencial a nivel planetario su deterioro es cada vez mayor. Su demanda principal es para el consumo humano, debiendo tener una calidad óptima para su uso. Sin embargo, el agua potable es también un problema alarmante para algunas partes del mundo (Gupta & Ali, 2013).

El acceso al agua potable se ha incrementado durante las últimas décadas en la superficie terrestre. Por ende la disponibilidad de agua para el consumo cada vez es menor, debido al crecimiento poblacional y a la contaminación de las fuentes de distribución (CLARA, 2005). Por esta razón debe poseer un alto grado de potabilidad y una gestión óptima, sin embargo, estudios de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) estiman que uno de cada cinco países en vía al desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030.

La importancia en la preservación de la calidad del agua y su mejora hace de este recurso un tema de suma importancia a nivel mundial, para la existencia propia de la vida y su crecimiento continuo (Gupta & Ali, 2013). Aunque en ciertas regiones del mundo el recurso hídrico sea constante, no es suficiente si existe el deterioro de la misma al no haber una adecuada atención y tratamiento del mismo.

2.20. Normas de calidad del agua.

Existen criterios de calidad de agua, en el Ecuador se tienen las siguientes: Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 1 108:2011; Agua Potable, Requisitos; Cuarta Revisión), Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural de la Secretaria Nacional del Agua (Norma CO 10.7 – 602 – Revisión; SENAGUA), Límites Máximos Permisibles para Aguas de Consumo Humano y Uso Doméstico que Únicamente requieran desinfección del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULAS, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1).

2.21. Factores que determinan la calidad del agua.

2.21.1. Factores Físicos - Químicos.

Proporcionan información de las propiedades físicas y químicas que pueden ser de origen natural o antropogénico; define su composición mineralógica y física de sustancias disueltas e insolubles en el agua (Barrenechea, 2000). Estos parámetros son susceptibles a la variación del tiempo, por tal motivo su control debe ser periódico (Alfaro, Santos, & Castaño, 2005).

- **Parámetros de Análisis Físico.**

Los indicadores físicos son un tipo de contaminación más frecuente en aguas subterráneas en donde los contaminantes son más persistentes y menos móviles (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Aunque no tienen incidencia en la salud humana, el cumplimiento de estos parámetros le da al agua un valor “agradable” para los sentidos. Los parámetros físicos son los siguientes: temperatura, sabor, olor, color y turbiedad. Cada uno de estos parámetros son variables importantes que le agregan al agua un valor estético y psicológico, pero no son eficientes en indicar riesgos para la salud humana (Acosta, 2008).

La **temperatura** es uno de los parámetros de aceptación para el consumidor e importante en el agua, puesto que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción del oxígeno; sobre todo en los procesos de potabilización.

El **sabor** y el **olor**, generalmente es causado por la descomposición de la materia orgánica, microorganismos presentes o compuestos químicos. Distinguiéndose cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. Con respecto al olor pueden inferirse que a falta de olor, indicios indirectos de ausencia de contaminantes, caso contrario habría que investigarse su origen.

El **color** en el agua usualmente por presencia de hojas, turba, troncos, entre otros tipos de materia orgánica en combinación de sustancias químicas como el hierro o manganeso. En el color intervienen otros factores en su formación como el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de las sustancias que le dan color. Aunque generalmente el agua subterránea debido a que constantemente se encuentra pasando por diferentes tipos de estratos (filtración natural), ésta no tiene un color que indique contaminación.

La **turbidez** originada por materia en suspensión o coloides, pequeñas partículas que por su tamaño se encuentran en suspensión en el agua, tales como las arcillas, limos, marga, materia orgánica, etc. Por lo que reducen su transparencia, impidiendo el paso de luz a través del agua. Estos sólidos en suspensión en muchas ocasiones son provenientes de la erosión del suelo, actividades agrícolas, mineras e industriales y reducen la actividad fotosintética provocando de esta manera que el agua se vuelva turbia (Zambrano, 2010).

- **Parámetros de Análisis Químicos.**

Algunas sustancias químicas presente en el agua potable, a determinadas concentraciones pueden presentar riesgos en la

salud humana (Acosta, 2008). Por lo general el análisis químico no se lo realiza tan frecuente como el bacteriológico debido a que los cambios en la química del agua tienden a ser a largo plazo, a no ser que exista un punto determinado en el cual se esté generando contaminación (Castillo, y otros, 2010). No obstante, son pocos los elementos de importancia en el tratamiento de agua cruda para fines de consumo humano o los que puedan tener incidencia en la salud humana (Barrenechea, 2000). Entre los parámetros químicos están los siguientes: pH, sólidos disueltos, alcalinidad total, dureza total, cloruros, sulfatos, amoníaco, nitritos, nitratos, fluoruro, arsénico, plomo, vanadio, entre otros de importancia (Acosta, 2008).

El **pH**, influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua tales como la corrosión e incrustaciones en las cañerías de distribución por donde esta fluye. Lo aconsejable y para tratar de evitar la formación temprana de estos fenómenos es tener un pH entre 6.5 y 8.5.

Los **sólidos disueltos**, son partículas muy pequeñas (1μ) que se encuentran disueltas o en estado coloidal. Su presencia causa residuos en las calderas y recipientes. Ayudan al deterioro de las cañerías y en algunos casos pueden ser laxantes.

Alcalinidad total (CaCO_3), tiene la capacidad para neutralizar ácidos, pero ciertos ácidos con aniones débiles pueden favorecer a la alcalinidad. En concentraciones altas pueden contribuir a la corrosión de las cañerías de distribución y el sabor del agua.

Dureza total, relacionada con la presencia de calcio Ca^{++} y magnesio Mg^{++} , aun no se ha demostrado afectos adversos a la salud humana pero se le atribuye un acelerado consumo de jabón y detergentes en el lavado.

Cloruro, en determinadas concentraciones afectan al sabor y suelen ser disolventes de ciertas sales presentes en el agua. Además de disuelven algunos componentes del cemento al impartirles una acción corrosiva y erosionante, mucho más en presencia de un pH bajo.

Sulfatos, en altas concentraciones afectan en el sabor del agua y pueden tener un efecto de laxante.

Amoniaco, su presencia indica la presencia de microorganismos e influyen en el proceso de desinfección con cloro aumentando la demanda de mismo.

Nitritos y Nitratos, indican contaminación bacteriana asociada con nitratos y amoniaco. Por otro lado, los nitritos al no cumplir con lo el límite aconsejable pueden causar metahemoglobinemia. Por formación de nitrosamina, pueden llegar a ser cancerígenos.

Fluoruros, elemento esencial en la dieta del hombre, en concentraciones adecuadas ayudan en la prevención de caries. Sin embargo, con altas concentraciones podrían manchar los dientes (fluorosis dental).

Arsénico, Plomo, Vanadio, son elementos pesados con efectos muy tóxicos para el ser humano. Por lo que su presencia en el agua debe ser nula.

2.21.2. Factores biológicos o bacteriológicos.

Se conoce poco de la incidencia de los microorganismos en el agua subterránea en comparación con las aguas superficiales. La demanda creciente de este recurso hídrico como fuente de abastecimiento, ha elevado el interés en las investigaciones en este campo de la microbiología (Ramírez Flores, Robles Valderrama, Ayala Patiño, & Martínez Rodríguez, 2012). El agua potable se considera un excelente conductor para la propagación de organismos patógenos intestinales, pudiendo causar epidemias si se tratase de un mismo sistema de distribución para una población (Olivas Enríquez, Márgee, & Otros, 2013).

En el agua subterránea existen diversos microorganismos patógenos, entre los cuales están algunos parásitos zoonóticos como *C. Parvum* y *G. lambia*; parásitos que indican contaminación por heces fecales,

posiblemente alguna fuente contaminante cercana al punto de captación como por ejemplo la presencia de pozos sépticos. Ambas causantes de epidemias con efectos muy severos en personas inmunodeficientes (Olivas Enríquez, Márgee, & Otros, 2013).

Existen microorganismos indicadores, los mismos que al tener una presencia considerable en el agua potable nos indican un tipo de contaminación con presencia de microorganismos patógenos pudiendo ser provenientes de heces fecales tanto humanas como animales (Acosta, 2008). Con un tratamiento adecuado es posible que muchas de estas especies desaparezcan (Zambrano, 2010). Los microorganismos indicadores son los siguientes: los coliformes, los enterococos y las pseudomonas (Acosta, 2008).

2.22. Criterios de calidad en aguas subterráneas.

Las normas empleadas para el control y vigilancia de la calidad de agua son necesarias para seleccionar fuentes adecuadas para el consumo humano (OPS/OMS, 2005). El objetivo es de proteger la salud de las personas, garantizando la salubridad, calidad y limpieza, según la aplicación que se le quiera dar. A continuación se presenta los parámetros más comunes como indicadores de contaminantes en aguas subterráneas:

2.22.1.Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

El ensayo de DBO Consiste en medir el oxígeno de una muestra de agua, normalmente medido una vez transcurrido cinco días y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l), es decir la cantidad de materia orgánica oxidada o degradada (Zambrano, 2010). Pero quizás para agua potable no sea un parámetro muy preciso ya que el contenido de materia orgánica presente en la misma es muy bajo. En otras palabras los valores de DBO son una medida de la alimentación para las bacterias, de manera que al introducir la materia orgánica, las bacterias empiezan a multiplicarse rápidamente con una velocidad exponencial, consecuentemente reduciendo así la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Al disminuir el oxígeno, las poblaciones de bacterias mueren, quedando estos como alimento para los protozoarios, a su vez estos mueren pasando a ser alimento para los rotíferos y finalmente a los crustáceos. (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

2.22.2.Medición del pH.

Es la concentración de iones hidrógeno en el agua, es decir que mide la acidez o la alcalinidad del agua. Cuando el número de protones es igual al número de iones, el agua es neutra equivalente a un pH de 7

(Zambrano, 2010). Debido a que la constante de disociación está en el orden de 10^{-14} en la neutralidad, únicamente hay 10^{-4} mili moles por litro de iones hidrogeno e hidroxilo equivalente a una concentración de 0.0001 mg/l de ion H^+ , consecuentemente se tiene una concentración de 0.005 mg/l de carbonato de calcio $CaCO_3$. Por esta razón al trabajar con concentraciones extremadamente pequeñas se planteó la siguiente formula, trabajando así con potencias de 10 (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+] \quad [Ec.5]$$

La ecuación indica una función logarítmica, donde la concentración de ion hidrogeno aumenta en factor de 10 por cada unidad de reducción del pH (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). El método más preciso para determinar el pH es medir un cambio de color en un experimento químico de laboratorio (Lenntech, 2015).

2.22.3.Dureza total.

El agua dura hace que el jabón sea difícil de eliminar. El calcio es uno de los componentes principales que conforman la dureza en el agua y generalmente se encuentra como carbonato de calcio ($CaCO_3$) entre 5 a 500 mg/l y como calcio entre valores de 2 a 200 mg/l. Este elemento

químico está presente en minerales como caliza y yeso (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Se podría decir que el agua es dura cuando presenta grandes concentraciones de calcio, caso contrario al ser muy bajas las concentraciones se la considera agua blanda (FRAISORO, 2002).

La dureza que se debe al carbonato de calcio puede reducirse hasta niveles de concentraciones de 35 mg/l, mediante el ablandamiento en frío con cal-soda, y para reducir aún más, hasta concentraciones de 25 mg/l usando el mismo proceso pero en caliente. Métodos como intercambio catiónico son usados para obtener concentraciones menores a 1 mg/l (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

Para determinar la concentración de dureza en el agua se ha planteado la siguiente ecuación (Báez, Granados, & Ronco, 2004):

$$\text{Dureza total de CaCO}_3 \text{ (mg / L)} = \frac{1000 * (A - B) * C}{D} \quad [\text{Ec.6}]$$

dónde:

A= ml de solución de EDTA gastados en la titulación.

B= ml de solución de EDTA gastados en la titulación del blanco.

C= Factor obtenido en la valoración de la solución de EDTA.

D= ml de muestra utilizados.

2.22.4. Sólidos totales disueltos.

Es una medida de la cantidad de materia disuelta en una muestra, y se lo determina previo a un proceso de filtrado mediante la evaporación de un volumen de agua. Hay muchos procesos de tratamiento según la composición del material, tales como intercambio iónico, destilación y osmosis inversa. Este parámetro se lo determina después de la remoción de sólidos suspendidos. Pero a pesar de esto tiene muchas fuentes minerales y rangos usuales entre 25 y 5000 mg/l. Además se conoce que las altas concentraciones afectan el sabor de las bebidas (Ver Tabla XV) y la conductividad eléctrica aceleran los procesos de corrosión. La reducción de estos contaminantes se logran mediante la reducción individual de los componentes (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

Tabla XV: Calidad del agua por concentración de constituyentes químicos.

Categoría	Sólidos totales disueltos (mg/l)
Agua fresca	8 – 1000
Agua Salobre	1000 – 10000
Agua oceánica	10000 – 100000
Agua de salmuera	> a 100000

Fuente: (Arizabalo & Díaz, 1991).

2.22.5. Medición de Hierro.

En aguas subterráneas pueden existir altos niveles de hierro, de manera que puede darle color al agua y manchar la ropa.

La capacidad que tiene el agua de disolver y dispersar cualquier tipo de sustancia en contacto con ella, es el causante de que este metal esté presente en este medio. Un ejemplo de esto podría darse en represas, donde las formaciones más profundas de mangano-ferruginosas se encuentran sumergidas, acumulando hierro y manganeso; posteriormente se da la descomposición de materia orgánica acumulada, eliminando oxígeno y dióxido de carbono, de manera que al entrar en contacto con dichas formaciones, los metales se vuelven solubles (OPS/OMS, 2005).

El hierro en el cuerpo humano es una sustancia nutritiva vital. Los alimentos más ricos en hierro son la carne roja, el pescado azul, muslos y alas del pollo, ciertos tipos de frutas secas, verduras y cereales. Pero en concentraciones excesivas puede ser nocivo para la persona.

Generalmente las sales encontradas en las aguas naturales no son tóxicas. Estas sales solubles de hierro pueden ser ferrosas o bicarbonatadas ferrosas (OPS/OMS, 2005). Según la secretaria del agua en el Ecuador la concentración de hierro no debe exceder los 300

mg/l CaCO_3 . En aguas superficiales se lo puede remover con procesos de remoción de turbiedad en donde las concentraciones pueden bajar de 10 a 0.3 mg/l. La remoción sea en aguas subterráneas o superficiales se lo realiza formando sales insolubles, mediante el uso de oxidantes en condiciones donde el pH sea alto, entre 8.5 a 10 (OPS/OMS, 2005).

2.22.6. Medición de manganeso.

Este metal en concentraciones elevadas puede causar daños en el sistema nervioso central y acelerar el proceso de crecimiento biológico en sistemas de distribución, ocasionando sabor y olor en el agua (OPS/OMS, 2005). Los síntomas por envenenamiento generalmente son alucinaciones, olvidos, esquizofrenia, depresión, debilidad muscular, dolor de cabeza, párkinson, embolia de los pulmones y bronquitis (Lenntech, 2015).

El manganeso es un metal bastante reactivo, de manera que al presentarse como un metal sólido reacciona de forma lenta mientras que al presentarse en pequeñas partículas (polvo) reacciona con mayor facilidad. Además este elemento químico presenta estados de oxidación que van de 1+ hasta de 7+, siendo los más comunes +2, +4, +7. Es decir que al tener mayor estado será más fácil de remover dicho contaminante. Un ejemplo de este criterio podría ser el

permanganato de potasio (KMnO_4) que produce soluciones acuosas de color rojo púrpura y el manganato de potasio (K_2MnO_4) que produce soluciones de color verde intenso (Lenntech, 2015).

Al estar en contacto con el oxígeno disuelto del agua se transforma en óxidos hidratados menos solubles; las sales disueltas de manganeso en concentraciones mayores a 0.15 mg/l pueden generar un sabor desagradable al agua (OPS/OMS, 2005). Según la secretaria del agua en el Ecuador la concentración de manganeso no debe exceder los 0.3 mg/l. La remoción se logra oxidando dicho contaminante ya sea que este en forma soluble o insoluble. Existen sustancias que aceleran el proceso de oxidación de manera que alcance su máximo estado de oxidación (Lenntech, 2015).

2.22.7.Nitratos.

La mayoría de nitratos provienen de los fertilizantes que se filtran hacia los acuíferos. Al beber el agua con nitratos, estos se transforman en nitritos por acción de las bacterias intestinales. Luego ocasionan la aparición de nitrosaminas provocando el desarrollo de tumores gástricos. Además el uso de abonos nitrogenados contaminan las plantas que a su vez, al consumirlas son adsorbidas por el organismo. Entre los alimentos principales de consumo están las acelgas, las espinacas, la remolacha y zanahorias (Botanical, 2015).

La organización mundial de la salud (OMS) tiene como límite de nitratos, concentraciones no mayores a 50 mg/l para el consumo humano, mientras tanto en la Agencia para la protección del medio ambiente norteamericana (EPA) sugiere concentraciones menores a 10 mg/l (MILIARIUM, 2008).

2.22.8.Arsénico.

Este elemento puede proceder de la disolución de las rocas que lo contengan o usados como componente habitual de raticidas, insecticidas y herbicidas; siendo uno de los metales tóxicos que producen graves lesiones en el aparato digestivo, cuyos síntomas son vómitos, dolor de estómago, diarreas, pudiendo ser mortal para quienes lo consuman. Además este metal provoca envenenamiento en la población a largo plazo, aproximadamente en 10 años y es responsable del desarrollo de tumores cancerosos en los pulmones, riñones, vejiga urinaria y piel.

Según la organización mundial de la salud (OMS), el agua potable debería tener menos de 0.01 µg/l para ser considerada apta para el consumo (Botanical, 2015).

2.22.9. Compuestos Organoclorados (OC).

El término plaguicida o pesticida es definida como cualquier sustancia o mezcla de sustancias cuya finalidad es la de destruir, prevenir, repeler o controlar cualquier tipo de plaga o especies no deseadas, que interfieran en la producción de algún producto agrícola (Calva & Torres, 1998).

Los plaguicidas se clasifican por su naturaleza química, por su mecanismo de acción o ya sea por el tipo de organismos que afectan.

- Por su naturaleza química: inorgánicos, orgánicos naturales y orgánicos sintéticos.
- Por su mecanismo de acción: contacto, ingestión y fumigante.
- Por el tipo de organismos que afectan: insecticidas, acaricidas, fungicidas y herbicidas.

De los plaguicidas orgánicos sintéticos más estudiados está el DDT (diclorodifeniltricloroetano), HCH (hexaclorociclohexano), Gamma HCH (lindano), Toxafeno, Heptacloro, aldrín, epóxico de heptacloro, dieldrín, endrín, sulfato de endosulfán, endosulfan I y II. A continuación para tener una idea del grado de toxicidad que tienen los plaguicidas en las personas, se presente la siguiente tabla:

Tabla XVI: Clasificación de plaguicidas según el grado de toxicidad.

Categoría	Definición	Dosis letal
I	Ligeramente tóxicos	0-5 mg/kg
II	Medianamente tóxicos	5-50 mg/kg
III	Altamente tóxicos	50-500 mg/kg
IV	Extremadamente tóxicos	> de 500 mg/kg

Fuente: (Fernández & Mancipe, 2010).

Los plaguicidas organoclorados son compuestos orgánicos hidrofóbicos (se acumulan en el tejido adiposo de los organismos), que se encuentran distribuidos ampliamente en el medio acuático y terrestre, debido al uso para combatir plagas en la agricultura. Utilizados como insecticidas, acaricidas específicos, herbicidas y fungicidas; aplicados para siembras de algodón, trigo, maíz, frijol, arroz, soya, naranja, mango, sandía, café, caña de azúcar, entre otros. El problema de contaminación por estos componentes se agrava aún más por el hecho de que la agricultura es de carácter difuso, por ende identificar su difusión y distribución en el medio circundante se complica (M. ELVIRA, 1998).

Sus propiedades fisicoquímicas los hacen resistentes a la degradación biológica, debido a que su tiempo de degradación es de

aproximadamente 5 años, pero existen componentes como el toxafeno que pueden llegar a degradarse en 11 años, el DDT y Endrín en 10 años, entre otros. Por lo que representan una amenaza a las poblaciones cercanas (Calva & Torres, 1998).

Los plaguicidas organoclorados en el medio acuático ocasionan problemas de contaminación, deteriorando la calidad del agua y provocando efectos nocivos sobre la biota y salud humana (Calva & Torres, 1998). Una vez incorporados los contaminantes al flujo subterráneo, es mucho más costoso detectarlos, de esta manera la dificultad aumenta si llegan a medios porosos, donde pueden permanecer por largos periodos de tiempo (M. ELVIRA, 1998).

La contaminación se debe al arrastre, infiltración y erosión de los suelos agrícolas que de alguna manera son rociados con plaguicidas, donde el lavado de estos suelos alcanzan en muchas ocasiones ríos, ecosistemas costeros y marinos. Una vez en el medio acuático estos compuestos son transportados por el movimiento horizontal, provocando la mezcla o dispersión de estas sustancias en la columna de agua donde experimentan reacciones físicas, químicas o biológicas, tales como oxidación (reacción lenta entre el pesticida y el oxígeno disuelto), hidrólisis (degradaciones), transformaciones biológicas (degradación por hongos y bacterias), adsorción y bioacumulación (Calva & Torres, 1998).

Los efectos de los organoclorados en el hombre se deben por ingestión, por vías respiratorias o a través de la piel y una vez en el organismo, estos se almacenan en el tejido graso donde suelen ser inactivos. Compuestos altamente tóxicos que pueden alterar el funcionamiento del cuerpo humano, generando problemas como alteración del ADN o de los cromosomas (Mutagénesis), malformaciones en el embrión (Teratogénesis) o alteración del metabolismo (Calva & Torres, 1998).

En el Ecuador un registro de casos de intoxicaciones y muertes por el uso de plaguicidas se da por parte del Ministerio de Salud Pública. Según las investigaciones, los más afectados por el uso de estas sustancias químicas son los productores agrícolas, indígenas y campesinos (PreNatal, 2007). Hay muchos factores que influyen en el uso excesivo de estos plaguicidas, entre los cuales se puede mencionar la falta de concientización de su uso y el analfabetismo ya que limita el acceso a la información sobre la toxicidad de estos.

2.22.10. Compuestos organofosforados (OP).

Estos compuestos son un grupo de sustancias orgánicas derivadas de la estructura química del fósforo. Usados para controlar plagas de insectos, disolventes, barnices, cuero artificial, impermeabilizantes, ablandadores de plásticos, fungicidas (Fernández & Mancipe, 2010).

En comparación a los pesticidas organoclorados, no son persistentes en el medio ambiente y no se acumulan en los tejidos grasos de las personas y animales, pero son mucho más tóxicos. Estos pesticidas se aplican a los cultivos, sobre plantas ornamentales y el césped (PANNA, 2001). Además otras de las características que facilitan la adsorción, es que estos compuestos son liposolubles, es decir que son solubles en otras sustancias tales como grasas, aceites y solventes orgánicos no polares (Fernández & Mancipe, 2010).

Generalmente son muy utilizados en el campo de la agricultura. Entre los productos que contienen estos compuestos son el Dursban y el Lorsban, que contienen el compuesto organofosforado clorpirifos; el Spectracide, que contiene el compuesto organofosforado diazinón y el Sevin, que contiene el carbomato carbaril (PANNA, 2001).

Los compuestos organofosforados inhiben la producción de una enzima llamada colinesterasa, es decir que bloquea el sistema nervioso del ser vivo. Los síntomas o efectos que causan en la persona son náuseas, dolor de cabeza, incapacidad para respirar, temblores, salivación y lagrimeo excesivo, convulsiones e inclusive la muerte. Además, algunos pesticidas causan daños reproductivos, otros son carcinógenos y afectan el sistema endocrino (PANNA, 2001).

2.23. Origen y definición de la Zeolita.

El mineral zeolita fue descubierto por primera vez en 1756 por el mineralogista sueco Cronstedt, la estilbita. Cronstedt reconoció a la zeolita como una nueva clase de minerales que consisten en aluminosilicatos hidratados, alcalinos o alcalinotérreos. Posteriormente le otorga el nombre de “zeolita” que proviene de dos palabras griegas, “zeo” y “lithos” que pueden traducirse como “piedras que hierven” (Jacobs, Flanigen, Jansen, & van Bekkum, 2001). Estos minerales a base de silicatos pueden encontrarse en la naturaleza; comúnmente en áreas volcánicas, sedimentos alcalinos en lagos desérticos y suelos o suelos marinos sedimentarios. Existen alrededor de 45 especies de zeolita, y al menos una de ellas ocurren en abundancia (Martínez & Corma, 2013). La zeolita natural y su formas modificadas tiene una amplia gama de aplicaciones, usados como adsorbentes, en detergentes, para el procesamiento de gas y petróleo, productos de la minería y del papel (Yukselen-Aksoy, 2010). Otras aplicaciones como la catálisis, industria de la construcción, agricultura, remediación de suelos, y energía, estimándose que el consumo mundial de zeolita natural hasta el año 2010 sería de 5.5 millones de toneladas (Wang & Peng, 2010). La razón del uso tan amplio de la zeolita natural son sus excepcionales propiedades físico-químicas y su alta funcionabilidad, presentando además algunas ventajas adicionales: son respetuosos con el

medioambiente, seguro y sostenible (Martínez & Corma, 2013). Su estructura molecular tipo tamiz y su alta capacidad de intercambio iónico hacen de la zeolita una alternativa de bajo costo en la remoción de contaminantes metálicos que se presentan en forma de cationes y aniones en el agua, así como también contaminantes orgánicos del agua (Wang & Peng, 2010). (Cifuentes, Felizzola, Ante, & Sanches, 2012), en su investigación demuestran que el material zeolítico presenta una gran eficiencia en la remoción de microorganismos independientemente de las concentraciones iniciales en sus ensayos. Las zeolitas naturales presentan un potencial uso en el tratamiento de aguas, presentando además como una de sus propiedades la regeneración (Widiastuti, Wu, Ang, & Zhang, 2008). En el Ecuador, en la última década se ha incrementado la explotación minera de la zeolita como material, destinado en su mayor parte al área agrícola, agropecuaria y acuícola (Morante Carballo, 2004).

Una definición general de la zeolita propuesta por la Asociación Internacional de Zeolitas (IZA) es que: "Una zeolita está caracterizada por una estructura de tetraedros enlazados que contiene cavidades en forma de canales y cajas que comúnmente están ocupadas por moléculas de agua y cationes. La estructura puede estar interrumpida por grupos (OH-, F-) que ocupan los vértices de los tetraedros los cuales no son compartidos con tetraedros adyacentes. Los canales son lo

suficientemente largos para permitir el paso de especies huéspedes. En las fases hidratadas ocurre la deshidratación a temperaturas moderadas (fundamentalmente por debajo de 400°C) y esta es ampliamente reversible” (Florencia Agosto, 2012).

2.24. Zeolitas en el Ecuador.

Las zeolitas en el Ecuador fueron descubiertas por investigadores cubanos en 1994 (Machiels, y otros, 2008). Se describieron por primera vez a lo largo de la región costera del Ecuador en Guayaquil (Machiels, y otros, 2014). Posteriormente, en la Cordillera de los Andes, así como también se han encontrado diferentes tipos de zeolitas abundantes dentro del país (MORANTE CARBALLO, 2014). En la formación Cayo ubicada en la ciudad de Guayaquil, existen zeolitas, en donde la roca sedimentaria del cretácico tardío está compuesta de material volcanoclásticos marinos (Machiels, y otros, 2014). La cordillera Chongon-Colonche une a las formaciones Piñón, San Lorenzo, El Arco Cayo, Calentura, Cayo y Guayaquil, de las formaciones mencionadas la que destaca en contenido zeolítico es la formación Cayo s.s. con observaciones litológicas de aglomerados volcánicos, areniscas de grano fino, lutitas, brechas volcánicas, lutitas muy solificadas constituyendo chert y tobas (Morante Carballo, 2004). La mayor parte de los estudios se desarrollaron en la cordillera de Chongón-Colonche debido a los altos

indicios que presenta su geología de contener formaciones zeolíticas (MORANTE CARBALLO, 2014). De manera que se pudieron encontrar zeolitas del tipo clinoptilolita, heulandita, mordenita, laumontita y analcima, las tres últimas son las menos comunes (Machiels, y otros, 2014). La formación Cayo Oeste, en los 100 Km de la Cordillera Chongón-Colonche, se han iniciado recientemente nuevas canteras de zeolita debido a la enorme área de afloramiento de estos depósitos de zeolita (más 10,000 Km²) y su diversidad de aplicaciones (Machiels, y otros, 2008).

2.25. Usos de la Zeolita.

En países desarrollados como Estados Unidos, en donde las zeolitas son empleadas principalmente en productos como desodorizantes de establos de animales, zapatos deportivos y otros relacionados a la agricultura constituyen un 75% el otro restante lo utilizan como remediación ambiental. Japón, en donde la zeolita está relacionada a la producción de papel, tratamientos de suelo, tratamientos de aguas, desodorizantes, portadores de fertilizantes y plaguicidas (Morante Carballo, 2004).

En el Ecuador el uso más importante de la zeolita está enfocado a la agricultura: en la remoción de amonio que proviene de la urea, aportar nitrógeno a las plantas, adsorber potasio de los fertilizantes y aumentar

su eficiencia en abonos orgánicos. Otro uso muy común se da en las piscinas camaroneras, ya que son empleadas para limpiar los desechos orgánicos que se generan por la alimentación y excretas de los camarones (MORANTE CARBALLO, 2014). Existen varias empresas ecuatorianas productoras, exportadoras, importadoras que comercializan la zeolita y sus aplicaciones son distintas, ya sea en el campo industrial, porcicultura, avicultura, agricultura, horticultura, medio ambiente, energía, decoración, ornamentación, domestico, etcétera (Rodríguez, 2002). A manera de resumen, Mumpton (1978), generalizó las principales aplicaciones de la zeolita en lo siguiente (Morante Carballo, 2004):

- Control ambiental: gestión de desechos radiactivos; tratamiento de efluentes de aguas residuales; tratamiento de aguas residuales agrícolas; limpieza total de gases emanados de chimeneas; producción de oxígeno.
- Conservación de energía: Gasificación de carbón; purificación de gas natural; usos en energía solar; producción de petróleos.
- Agricultura: Fertilización y remediación de suelos; adsorción de pesticidas, fungicidas y herbicidas; adsorción de metales pesados de los suelos; nutrición animal; tratamiento de excremento animal.
- Minería y metalurgia: Adsorción de metales pesados de efluentes; adsorción de metales pesados en procesos metalúrgicos.

- Aplicaciones varias: En la industria del papel; construcción; aplicaciones médicas; detergentes; control de malos olores; camas de animales, etc.

2.26. Composición y estructura de la zeolita.

Las zeolitas son considerados materiales microporosos cristalinos inorgánicos perteneciente a la familia de los tectosilicatos, construidos a partir de tetraedros TO_4 , donde T es la posición del átomo en el tetraedro (Silicio, Aluminio pero también fosforo, germanio, titanio, galio, boro, zinc, entre otros que pueden ser encontrados en la naturaleza) (Martínez & Corma, 2013). Siendo el aluminio el más común (Bokhoven & Lamberti, 2014). Tradicionalmente, la zeolita es considerada como un aluminosilicato cristalino o polimórfico de silicio, está basada en el compartimiento de esquinas de TO_4 formando una estructura tridimensional tetraédrica, con poros de igual medida de dimensiones moleculares (Xu, Pang, Yu, Huo, & Chen, 2007).

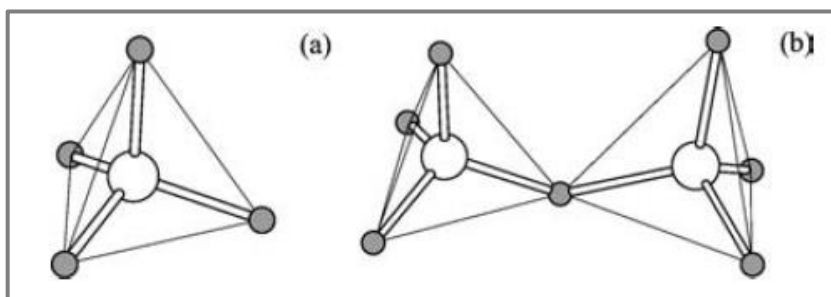


Figura 35: (a) TO_4 Tetraedro; (b) TO_4 tetraedros que comparten una esquina en común de oxígeno (Xu, Pang, Yu, Huo, & Chen, 2007).

Las estructuras tetraédricas adyacentes se conectan por medio de puentes de oxígeno compartido, formando una red tridimensional (Ver Figura 35b) (Martínez & Corma, 2013). Cada estructura tetraédrica está compuesta de cuatro átomos de oxígeno y un catión (átomos T) en el centro, a esta unidad tetraédrica se la conoce como estructura primaria (Ver figura 35a) (Yang, y otros, 2010).

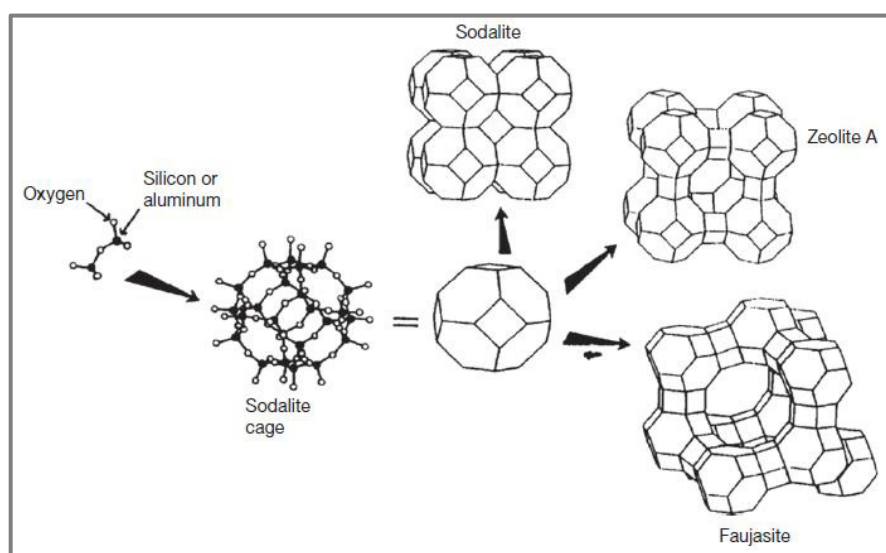
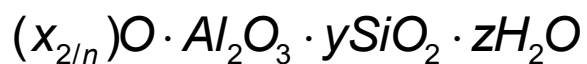


Figura 36: Esquema de la estructura de la zeolita. Construcción de una jaula de sodalita y de tres topologías diferentes estructuras que contienen esta unidad de construcción (Martínez & Corma, 2013).

Las estructuras primarias se enlazan, formando así, estructuras poliédricas (poliedros simples) quienes constituyen a las estructuras secundarias (Gómez Martín, 2001), pudiendo llegar a contener hasta 16 átomos T (Martínez & Corma, 2013). Estas estructuras secundarias se apilan juntas formando estructuras terciarias (Ver Figura 36) más o menos complejas (Gómez Martín, 2001), formando cavidades abiertas

en formas de canales y jaulas, permitiendo contener moléculas de agua en su estructura molecular, y cationes extraestructurales que comúnmente son intercambiables (Yang, y otros, 2010). Las medidas de los diámetros de sus aberturas (poros) son muy pequeños, van en el orden 2 nanómetros nm, súpermicroporos de entre 0.7-2 nm y ultramicroporos mucho más pequeños de 0.7 nm (Stefanakis & Tsihrintzis, 2012). Debido a estas aberturas de dimensiones moleculares, las zeolitas son denominadas como “tamices moleculares”, por lo que podríamos concluir que la separación en las zeolitas toma lugar en la separación por tamaños (Martínez & Corma, 2013). A continuación se presenta un modelo de formula empírica para cualquier tipo de zeolita según (MORANTE CARBALLO, 2014):



Donde x puede ser un catión alcalino o alcalino térreo; n corresponde a la valencia en dicho catión; y es un número del 2 al 10; z que acompaña a la molécula de agua que va del 2 al 7. Además el término $(x_{2/n})$ se lo conoce como cationes de intercambio, generalmente no hay especies de zeolitas con iones de aluminio mayores a los iones de silicio y el agua se encuentra en la estructura de forma libre representada en un rango que

va del 10 al 20% de la fase hidratada. Esta agua podría ser extraída a temperaturas aproximadamente 350 °C.

Es muy común que las zeolitas formadas en etapas tempranas, alteren a otras de tal manera que pasen de una fase menos estable a otra más estable, debido al ambiente físico químico. Además la estabilidad de las zeolitas depende de la temperatura (Ver Tabla XVII) y de la actividad química del agua ya que se ve reducida por la actividad de una variedad de soluto. Un incremento en la salinidad puede reducir la temperatura de las reacciones de deshidratación y consecuentemente la temperatura baja de manera que las zeolita hidratadas son menos estables (MORANTE CARBALLO, 2014).

Tabla XVII: Tipos de zeolitas que se forman a distintas temperaturas.

Sódica	Cálcica
Vidrio alterado	Vidrio alterado
41 - 55 °C	42 - 55 °C
Clinoptilolita - Mordenita	Clinoptilolita (mas cálcica)
81 - 91 °C	82 - 91 °C
Analcima	Heulandita
120 - 124 °C	121 - 124 °C
Albita	Laumontita
124 - 150 °C	125 - 150 °C

Fuente: (MORANTE CARBALLO, 2014).

2.27. Propiedades de la zeolita.

Las zeolitas han sido desde su descubrimiento una alternativa de bajo costo y tecnología, usados en diversos campos de la industria y en la remediación del medio ambiente. Su importancia a nivel mundial radica en sus propiedades físico-químicas. De las propiedades y como más importantes, destacan la adsorción y el intercambio iónico:

2.27.1. Adsorción.

Para comprender el término adsorción es importante saber que en las aguas dulces, hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en forma de coloides, es decir que se habla de sustancias intermedias entre disolución y suspensión. Estas partículas dispersas están suspendidas en un medio pero no están realmente disueltas.

Generalmente el tamaño de los coloides está por debajo de 1 micra con un límite inferior aproximado de 0.001 micra, ya que de no ser así los coloides mayores a una micra tendrían cierta velocidad de asentamiento pudiendo ser removidos por procesos de sedimentación (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Estos coloides se clasifican en hidrofóbicos, los cuales se resisten o son repelidos por el agua, tal como el aceite y ceras; hidrofílicos, los cuales son fuertemente atraídos por el agua, siendo estos los más difíciles de

adsorber, como por ejemplo el azúcar y el alcohol que no son adsorbidos por el carbón activado. Entonces se podría decir que la adsorción es la adhesión física a las superficies de un sólido ya sean moléculas o coloides, sin que haya una reacción química. Generalmente se usa un sólido que tenga propiedades de adsorción, tales como el carbón activado y materiales zeolíticos. Debido a que la adsorción es una reacción en la superficie, una medida para la efectividad del adsorbente es el área de la superficie (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

Los adsorbentes son porosos, donde el tamaño de los poros es importante para mejorar el proceso. Por esta razón las zeolitas son utilizadas para adsorber variedades de materiales que son indeseables para el hombre, es por ello que se las emplean en procesos de secado, purificación y separación. Incluso son capaces de remover agua hasta presiones parciales muy bajas con capacidad de deshidratación que supera el 25% de su peso en agua (MORANTE CARBALLO, 2014). Esta capacidad de adsorción es debida a la red tridimensional de tetraedros enlazados por medio de puentes de oxígeno compartido (Cifuentes, Felizzola, Ante, & Sanches, 2012), estos van formando canales y cavidades dentro de muchas estructuras zeolíticas que son de dimensiones moleculares, sus tamaños, y su configuración son propiedades intrínsecas de una estructura cristalina

particular; adicionalmente debido al campo eléctrico generado por los cationes intercambiables crea una fuerte afinidad por el agua y otras moléculas polares (Rouquerol, Llewellyn, & Sing, 2014). Las zeolitas al ser sometida al secado, sea calentadas al vacío o por corrientes de gas, pierden el agua contenida dentro de sus cavidades, sin alterar su estructura; esto crea una gran superficie interna (300-800 m²/g), por lo que las zeolitas presentan una alta capacidad de adsorción y de selectividad de cualquier tipo de molécula que pueda penetrar en sus cavidades (Gómez Martín, 2001).

Históricamente la zeolita natural ha sido utilizada principalmente para fines industriales como la producción de oxígeno, hidrogeno, etcétera. Sin embargo, la presencia de impurezas, la falta de uniformidad y el procesamiento de adsorbentes basado en zeolitas naturales son una limitante en su uso, por lo que las zeolitas sintéticas son ahora las que principalmente se usan (Martínez & Corma, 2013). Las características de las zeolitas sintéticas destacan las siguientes (Gómez Martín, 2001):

- Distribución de poro uniforme, que les imprime carácter de tamiz molecular para separar moléculas de distintos tamaños.
- Adsorben preferentemente sustancias polares o apolares a bajos o altos valores de la relación silicio/aluminio, respectivamente.

- Mayor afinidad por lo que les permite separar compuestos no sólo en razón de su tamaño, sino, a igualdad de éste, por diferencias de configuración.
- Mayor capacidad de adsorción que los otros adsorbentes, consiguiéndose mejores rendimientos incluso en condiciones desfavorables (elevadas temperaturas y bajas concentraciones de adsorbible).

2.27.2. Intercambio iónico.

El intercambio de iones es un proceso de separación, donde los iones estabilizadores de carga que se mantienen sobre un sólido poroso, prácticamente insoluble, son intercambiados por iones de una solución que se pone en contacto con el sólido, llevándose a cabo la transferencia de uno o más iones de la fase líquida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidas por fuerzas electrostáticas (Quiminet, 2014).

La presencia del aluminio tetraédricamente coordinado en la estructura de la zeolita resulta en una carga negativa (Martínez & Corma, 2013), la cual se rige por el número de átomos de aluminio en las posiciones T, dado que la estructura de la zeolita es anicónica (Rouquerol, Llewellyn, & Sing, 2014). De manera que para el equilibrio global de la estructura del aluminosilicato, esta debe ser compensada por cationes en

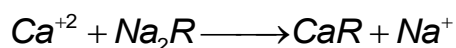
posiciones extra estructurales, localizados dentro de los canales y/o cavidades de la estructura de la zeolita (Martínez & Corma, 2013). Según (CARBALLO, 2014), en este tipo de análisis se mide la capacidad de intercambio que tienen los cationes de las zeolitas con los de su entorno, ya sea cationes intercambiables, pertenecientes a los grupos 1A y 2A tales como: sodio (Na^+), potasio (K^+), Magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}).

La capacidad de intercambio iónico dependerá de algunos factores de importancia, siendo los siguientes (Gómez Martín, 2001):

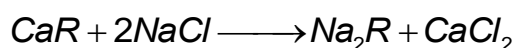
- Naturaleza, tamaño (tanto anhidro como hidratado) y carga del catión.
- Temperatura a la cual se realiza el intercambio.
- Concentración de las especies catiónicas en disolución.
- Especies aniónicas asociadas con las catiónicas en disolución.
- Naturaleza del disolvente (acuoso u orgánico).
- Características estructurales de cada zeolita en particular.

La zeolita, por excelencia es un intercambiador iónico, por lo que su uso en tratamientos de aguas ha despertado el interés de varios investigadores en la actualidad. En sistemas de tratamientos de agua, lo que se requiere es reemplazar los iones no deseados liberando iones más aceptables o menos perjudiciales (Cortijo Herrera, 2013), de

manera que se reducen la introducción de cationes indeseables a la cadena alimenticia. Por ejemplo la zeolita al entrar en contacto con un fluido con iones cargados positivamente (cationes) que son capaces de difundirse a través de los poros de la zeolita se intercambian con los iones sodio Na^+ de este mineral; por lo que este mineral se llamaría intercambiador de cationes, la ecuación de balance químico es (Treybal, 1980):



Donde R representa el residuo de la zeolita, de esta manera se puede tratar “aguas duras”, reemplazando el sodio Na^+ por el calcio Ca^{+2} ; siendo el sodio el menos perjudicial dependiendo de su concentración en el agua luego del tratamiento. Esta reacción es reversible luego de que el adsorbente haya alcanzado su punto de saturación, poniendo el adsorbente en contacto con una solución salina. Por ejemplo:



Otras de las propiedades con las que cuenta la zeolita son las siguientes (MORANTE CARBALLO, 2014):

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y gran volumen de vacíos al deshidratarse.
- Estructura cristalina estable cuando están deshidratadas.

- Características de intercambio iónico.
- Conductividad eléctrica.
- Adsorción de gases y vapores.
- Características catalíticas (aumenta la velocidad de una reacción química).

2.28. La zeolita y su efecto en la Salud.

En la actualidad existe un amplio análisis y evaluación de los efectos nocivos para la salud humana de ciertos constituyentes presentes en los recursos minerales. Estos efectos nocivos pueden transmitirse ya sea por ingesta o inhalación de minerales tóxicos, incluyendo los minerales liberados en un medio acuoso. De manera que puede dividirse de acuerdo al efecto negativo sobre la salud, en dos grupos:

1. Minerales que por su efecto nocivo está relacionado por su composición química.
2. Minerales que por su efecto nocivo está relacionado por la inhalación de sus partículas.

De estos, el segundo engloba a un gran número de familias de silicatos que por inhalación producen efectos patógenos sobre la salud humana. Dentro de los silicatos se encuentran la familia de los tectosilicatos, entre

ellos la sílice cristalina (cuarzo, cristobalita y tridimita) y algunas zeolitas fibrosas como la Erionita (Pozo & Carretero, 2008).

La Erionita es una zeolita cristalina y fibrosa, su estructura básica es análoga a las demás. Encontrándose en varios tipos de roca sedimentarias de formación volcánica pero no muy común en forma pura. Su aparición está asociada con otros minerales de zeolita (Osindky & Mager Stellman, 1996). La Erionita es la zeolita que mayor estudio presenta en lo que respecta a su patogenicidad a la salud humana, provocando cáncer de pulmón y mesotelioma. El estar expuesto un tiempo considerable en ambientes donde ésta pueda estar presente, por ejemplo en zonas mineras en donde la extracción sea algún tipo de zeolita (Pozo & Carretero, 2008). En la formación cayo constituye un porcentaje menor, pero existen trazas de Erionita que han sido encontradas en un corte realizado en la Vía Perimetral, según investigaciones realizadas (Machiels, Snellings, Morante, Elsen, & Paredes, 2006).

Otras de las consecuencia, son tumoraciones en el pulmón y cáncer en la pleura (membrana serosa de origen mesodérmico que recubre ambos pulmones, el mediastino, el diafragma y la parte interna de la caja torácica). La gente que respira la fibra desarrolla el cáncer de pleura, cuyos síntomas son tos, dolor abdominal, dolor en la parte derecha de la espalda, cansancio y dificultades para respirar (Enciso, 2014).

2.29. Aplicación de la zeolita como medio filtrante.

La capacidad de tamizado que tiene la zeolita se observó por primera vez para la chabazita en 1932, cuando retenía pequeñas moléculas de ácido fórmico y metanol, pero no pudo adsorber benceno ni moléculas grandes. Esta especie de zeolita ha sido usada comercialmente para chimeneas gracias a las propiedades que tenía de adsorber contaminantes emitidos como SO_2 (VIVAS, 2013). Este material abarca diferentes ramas relacionadas a la producción y calidad de vida de las poblaciones, debido a sus propiedades, tales como intercambio catiónico, control de olores, adsorbentes para aceites, entre otros (ODILIA GUTIÉRREZ, 2006).

En la filtración, la adsorción cumple el papel más importante, debido a que el agua pasa a través del lecho filtrante y las partículas suspendidas hacen contacto y son adsorbidas sobre la superficie de los granos del medio o sobre el material previamente depositado. Los filtros se dividen en tres grupos: filtros clarificadores, filtros de flujo transversal y los filtros de torta. Siendo este último casi siempre para separaciones sólido – líquido, incluyendo depósitos para el lavado de los sólidos y para la eliminación de la mayor parte del líquido residual (LEON, 2013).

La zeolita es un material de baja densidad, que al deshidratarse conserva un gran volumen de vacíos y grandes áreas de superficie

interna. Neutralizan ciertos elementos gracias a las propiedades catiónicas, y retienen elementos distintos del agua de hasta 5 micras. Al momento de la deshidratación, la estructura molecular formada por tetraedros de SiO_4 y AlO_3 se reúnen dando lugar a redes tridimensionales abiertas, presentando un exceso de carga negativa como consecuencia de la sustitución isomórfica de Si^{4+} por Al^{3+} , con lo que desarrolla su capacidad de absorción de gases y vapores, permitiendo así el intercambio iónico (CARBOTECNIA, 2014), es decir se sustituye un ion por otro de tamaño similar, de manera que no se ve alterada la estructura (MORANTE CARBALLO, 2014).

La filtración en un medio granular por lo general se aplica para la eliminación de sólidos suspendidos cuyas concentraciones estén entre 5 y 50 mg/l. Entre los mecanismos que intervienen en el proceso de filtrado esta la adsorción y el colado. Además la adsorción depende también de las características físicas y químicas del contaminante y de las propiedades de los flóculos en caso de estar suspendidos, tales como tamaño, resistencia al esfuerzo cortante y adhesividad. El área donde se efectúa la adsorción está estimada entre 3000 a 5000 $\text{pie}^2/\text{pie}^3$ (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996). Para tener un rendimiento máximo del filtro debe tomarse en cuenta la calidad de agua que se desea obtener. La eliminación de sólidos se lleva a cabo en la parte superior y un aumento en la profundidad mejora la distribución

hidráulica. Además la temperatura es uno de los factores que afecta el desempeño del filtro ya que al tener una mayor viscosidad se aumenta la eficiencia de la remoción (COMPANY, KEMMER, & McCALLION, 1996).

2.30. Tipos de adsorción.

Para entender los principios de la adsorción, es necesario entender dos tipos de adsorción, donde su diferencia radica en el tipo de enlace entre el adsorbato y el adsorbente:

Adsorción física, se da por medio de fuerzas intermoleculares de atracción que son relativamente débiles y reversibles, entre las fuerzas físicas está las fuerzas de Van der Waals. En las zeolitas, además de las de Van der Waals, están las electrostáticas que por su estructura molecular (iónica) son representativas (Sanz De Juan, 2012).

Adsorción química o quimisorción, implica enlaces de formación química entre la molécula de adsorbato y la superficie del adsorbente. Las fuerzas de unión química pueden variar considerablemente, pero esto no implica que se formen nuevos compuestos químicos; sin embargo, la fuerza de adhesión es considerablemente mayor a la adsorción física (Treybal, 1980). Dependiendo de tipo de adsorción generalmente desprenden calor, en especial la adsorción química. (Sanz

De Juan, 2012), en su trabajo de investigación da las siguientes diferencias entre la adsorción física y adsorción química:

Tabla XVIII: Diferencias entre adsorción física y adsorción química.

Adsorción física	Adsorción química
Bajo calor de adsorción.	Alto calor de adsorción.
No específica.	Altamente específica.
Formación de monocapa y multicapa.	Formación de monocapa.
Sin disociación de las especies adsorbidas.	Puede existir disociación de las especies adsorbidas.
Importante únicamente a bajas temperaturas.	Posible en un amplio intervalo de temperatura.
Rápida, no activa, reversible.	Activa, puede ser lenta e irreversible.
No hay transferencia de electrones, aunque puede tener lugar una polarización de adsorbato.	Hay transferencia de electrones, formando enlaces químicos entre el adsorbato y la superficie del adsorbente.

Fuente: (Sanz De Juan, 2012)

2.31. Isoterma de Equilibrio.

La isoterma de adsorción es la relación de equilibrio entre la concentración en la fase fluida y la concentración en las partículas del adsorbente a una temperatura determinada (McCabe, Smith, & Harriott, 1998). Estas isotermas de equilibrio son curvas mediante las cuales se trata de simular el resultado de un proceso de adsorción. En la figura 37 se representan algunas formas típicas de estas curvas, donde w es la carga del adsorbato y c es la concentración en el fluido.

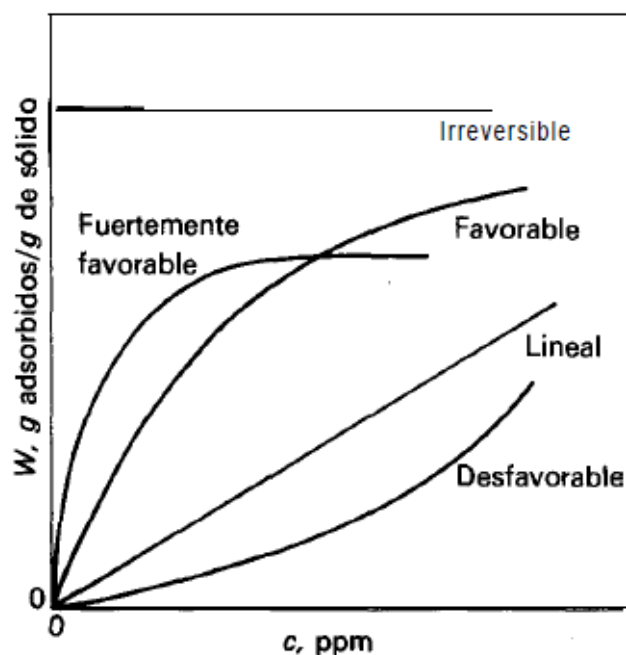


Figura 37: Representación gráfica de algunas isoterma típicas (McCabe, Smith, & Harriott, 1998).

Para tener una idea clara de las isoterma de equilibrio, es necesario distinguir entre las curvas favorables, lineales y desfavorables. Asumiendo que la transferencia de masa ocurre de la parte fluida a la parte sólida. Las curvas cóncavas hacia abajo se las denominan curvas favorables debido a que la carga adsorbida por el adsorbente siempre es mayor que la concentración de adsorbato en la fase fluida, caso contrario cuando la concavidad cambia hacia arriba se las conoce como curvas desfavorables (Sanz De Juan, 2012). Mientras que la curva lineal que pasa por el origen del eje de coordenadas nos indica que la cantidad de adsorbato adsorbida por el adsorbente es proporcional a la concentración del adsorbato en la fase fluida. El caso límite en el

proceso de adsorción es la que responde a una isoterma irreversible, donde la cantidad adsorbato adsorbida por el adsorbente es independiente de la disminución de la concentración hasta valores muy bajos (McCabe, Smith, & Harriott, 1998).

En el presente trabajo nos basaremos en isotermas de equilibrios que permitirán llevar a cabo una explicación adecuada en la construcción de un modelo matemático para una columna de adsorción. La adsorción por parte de un adsorbente prácticamente disminuye al aumentar la temperatura, puesto que el proceso de adsorción es un proceso exotérmico (liberan calor); generalmente la adsorción es mayor cuanto menor es la solubilidad en el disolvente (Treybal, 1980).

La realización de modelos de equilibrio y la búsqueda del comportamiento en la transferencia de masa, se han desarrollado en teorías que predigan este fenómeno de adsorción y, de esta manera y de forma aproximada se puede llegar a diseñar columnas de adsorción satisfactorias. Así pues, el desarrollo de isotermas de equilibrio han sido un caso de estudio durante décadas; expresiones empíricas que ajustan datos experimentales dentro de rangos específicos de concentración. Entre las isotermas más usuales está la isoterma lineal.

- **Isoterma lineal**, puede ser descrita por la ecuación de una línea recta que pasa por el origen, de la forma (Rivero Martínez, 2002):

$$q = k \cdot C_e \quad [Ec.7]$$

Donde q es la cantidad de adsorbato removido por unidad de masa del adsorbente (mg/g), k es la constante de equilibrio $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})(\text{dm}^3 \cdot \text{mg}^{-1})$ y C_e es la concentración del adsorbato en el equilibrio (mg/dm^3).

2.32. Modelo de concentración en un lecho fijo.

En la adsorción de lecho fijo tanto las concentraciones de la fase fluida y del adsorbente varían con el tiempo y la posición en el lecho (Ver Figura 38). Conforme pase el tiempo llegara a un instante ($t=t_n$) en la cual toda la longitud del lecho está totalmente saturado. La curva que se obtiene de la relación C/C_0 versus t se la denomina curva de ruptura (Castellar Ortega, Cardozo Arrieta, Suarez Guerrero, & Vega Taboada, 2013). Por lo general el punto de ruptura ocurre cuando la concentración del adsorbato a la entrada del lecho fijo llega al 5 o 10 por ciento de la concentración inicial y en el tiempo que ocurre se lo denomina tiempo de ruptura (t_b) y el punto cuando la columna de lecho fijo se satura se lo conoce como punto de saturación, ocurre cuando la concentración del adsorbato a la salida del lecho fijo llega al 95 o el 99 por cierto de la concentración inicial, el tiempo para que ocurra su saturación se lo denomina tiempo de saturación (t_s) (McCabe, Smith, & Harriott, 1998).

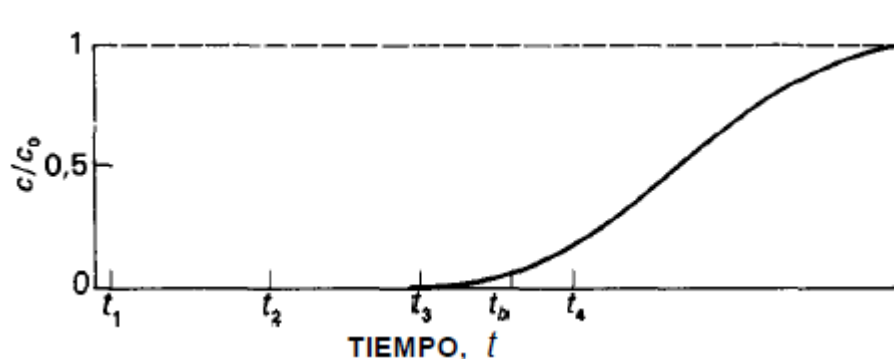


Figura 38: Curva de ruptura en la adsorción de un lecho fijo (McCabe, Smith, & Harriott, 1998).

2.33. Planteamiento del modelo conceptual de una columna de adsorción de lecho fijo.

Para el diseño de una columna de adsorción se parte de datos de laboratorio para la construcción de curvas de rupturas, siendo estas primordiales en el diseño (McCabe, Smith, & Harriott, 1998). La experimentación directa en el laboratorio podría arrojar una curva de ruptura directa y concisa; por otro parte, el tiempo que consume y el gasto económico lo hace un proceso no deseable (Xu, CAI, & Bing-cai, 2013). En ocasiones se puede predecir su comportamiento a partir de datos de equilibrio y cálculos de transferencia de materia (McCabe, Smith, & Harriott, 1998). Muchos métodos han sido empleados en modelos matemáticos que permitan describir y predecir curvas de ruptura de un sistema de columna de adsorción en fase líquida o gaseosa (Zhang & Cheng, 2000). Un modelo matemático que sea capaz de describir el comportamiento de una columna de adsorción está

basado en un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales y algebraicas construido a partir de la conservación de la masa, energía, momento y añadiendo en su estructura ecuaciones de velocidad de transporte apropiadas e isothermas de equilibrio (Saleh, Wan, & Ahmad, 2014). Saber el tiempo en el cual un espesor determinado del lecho adsorbente se saturará, es importante, incluyendo las condiciones de operación de la columna de adsorción de lecho fijo; como por ejemplo la velocidad del fluido, concentración con la que el adsorbato recorre a través de la columna, densidad del adsorbente, porosidad del lecho, espesor o longitud del lecho, etc.

Los procesos de distribución de concentración puede ser dividido en dos partes: transformación y transporte (Patel, Metha, & Singh, 2014):

- **Transformación**, se refiere a aquellos procesos que cambian de una sustancia de interés a otra, ya sean físicos y las reacciones químicas.
- **Transporte**, se refiere a aquellos procesos por los cuales una sustancia se mueve de un lugar a otro. El proceso de dispersión está asociado con la difusión molecular y la dispersión mecánica. La difusión molecular es la propagación causada por el movimiento aleatorio molecular y las colisiones de las partículas en sí mismas. La dispersión mecánica es la difusión de un componente disuelto en la fase líquida por las variaciones en la

velocidad del líquido, es decir, el flujo de un fluido. Estos dos mecanismos causan un frente de concentración en las partículas por el fluido conforme el fluido avanza a través del medio poroso. A la combinación de los procesos de difusión molecular y la dispersión mecánica se conocen como dispersión hidrodinámica o dispersión.

A través de una columna de lecho fijo estos dos conceptos son imprescindibles para entender la física del proceso de adsorción. En la Figura 39 se presenta un esquema de la transferencia de materia de una fase líquida a la fase sólida y su explicación dados en el proceso de adsorción:

- Transferencia de materia entre las partículas, en el caso de lechos fijos ocurre la difusión de adsorbato entre los espacios intersticiales que existen en el medio granular. Resultando significativo en estos tipos de columna de adsorción.
- Transferencia de materia en la interface, se refiere a la transferencia de la película de adsorbato que se forma alrededor de las partículas sólidas de la columna de adsorción.
- Transferencia de materia en la partícula, se refiere a la transferencia del adsorbato a través de los canales y/o cavidades de las partículas del lecho de la columna.

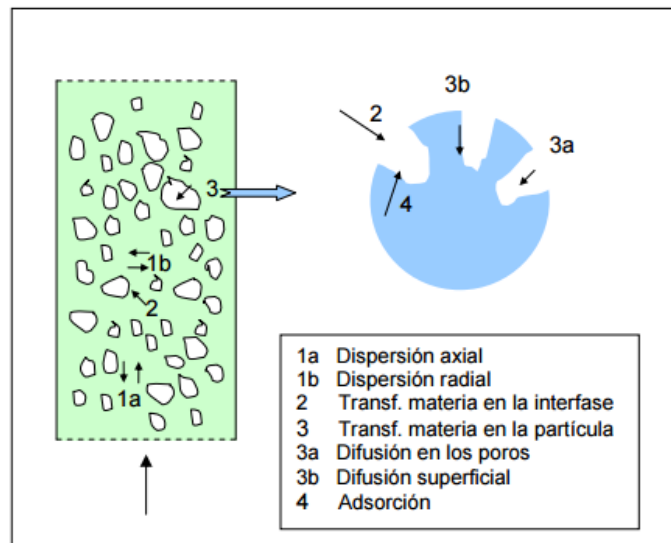


Figura 39: Esquema de la transferencia de materia a través de las partículas del lecho fijo (Rivero Martínez, 2002).

Al momento en el que ingresa el adsorbato a la columna de lecho fijo; la velocidad del flujo del fluido varía ampliamente en los espacios intersticiales y poros del lecho, presentando un flujo no uniforme y gradientes de concentraciones. Este efecto provoca la dispersión hidrodinámica y la mezcla de adsorbato con el fluido en distintas direcciones, a lo largo de la columna (dispersión axial) y perpendicular al movimiento de flujo (dispersión radial).

La dispersión axial reduce la eficiencia de la columna en la separación de las sustancias no deseadas; sin embargo, la dispersión radial tiende a igualar las diferencias de concentración es en el líquido con las pequeñas partículas del lecho en la misma posición axial (Rivero Martínez, 2002). En ocasiones la dispersión radial suele ser ignorada en

los modelos matemáticos de columnas de lechos fijos cuando la relación longitud/diámetro es considerablemente grande, los efectos del flujo del fluido no es tan importante en la dirección radial comparado con el flujo en la dirección longitudinal (Albuquerque, Araújo, & Sousa, 2004).

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se tomó como referencia el modelo matemático unidimensional de advección – dispersión de (Zhang & Cheng, 2000) en condiciones de equilibrio, por lo que se omitirá la reacción química que podría existir entre la fase líquida y la fase sólida. Este modelo toma al lecho fijo como un reactor de separación física en donde la dispersión hidrodinámica es un factor de importancia en su rendimiento. Varios investigadores han evaluado la dependencia del parámetro de dispersión **D** en la velocidad de filtración **u**, que aparece en la ecuación unidimensional de advección – dispersión (Patel, Metha, & Singh, 2014):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ D \frac{\partial C}{\partial x} - u(x,t)C \right\} \quad [Ec.8]$$

Taylor en su investigación encuentra al coeficiente de dispersión **D** proporcional al cuadrado de la velocidad de filtración uniforme (u^2); Bears y Todd sugieren que **D** es directamente proporcional a la velocidad (**u**). Un sin número de teorías respecto al coeficiente de dispersión **D** se han formulado, pero no es el enfoque de estudio para el desarrollo del presente trabajo; sin embargo, de ser necesario puede ampliarse en las

referencias (Niman, y otros, 2013), (Taylor, 1953). En nuestro caso, además de las consideraciones iniciales debemos considerar en la ecuación el término de adsorción.

2.34. Modelo matemático.

Para el desarrollo del modelo matemático de la columna de adsorción de lecho fijo, usaremos los principios de conservación de masa, el cual incluye el término de dispersión longitudinal o axial, flujo por convección o advección, acumulación en la fase fluida y el termino fuente causado por el proceso de adsorción por las partículas del adsorbente (Saleh, Wan, & Ahmad, 2014). La dispersión radial, considerando que la relación longitud del lecho/diámetro es considerablemente grande puede ser ignorada (Albuquerque, Araújo, & Sousa, 2004). Considere un volumen elemental de la columna de adsorción de lecho fijo (Ver Figura 40). Para el desarrollo del modelo matemático del siguiente sistema es necesario considerar algunas suposiciones según (Gupta & Babu, 2005), (Zhang & Cheng, 2000), (Yusuff, Popoola, Adeodu, & Daniyan, 2013), (Xu, CAI, & Bing-cai, 2013):

- El sistema opera bajo condiciones isotérmicas y el flujo es incomprensible.
- El equilibrio de adsorción se describe mediante la isoterma lineal (bajo rango de concentraciones).

- Transporte de masa debido a la difusión de Fick.
- Las partículas adsorbentes son esféricas y homogéneas en tamaño y densidad.
- La velocidad axial no cambia de un lugar a otro, es decir, velocidad axial constante.
- La componente de adsorción es asumida.
- No ocurre una reacción química en la columna.

Aplicando el principio de conservación de masa para la fase fluida y de poros en la columna, tenemos lo siguiente (Yusuff, Popoola, Adeodu, & Daniyan, 2013):

Ecuación de Balance de Masas

Tasa de material que entra + Tasa de material que sale

= Tasa de acumulación del material + Tasa de pérdida por adsorción

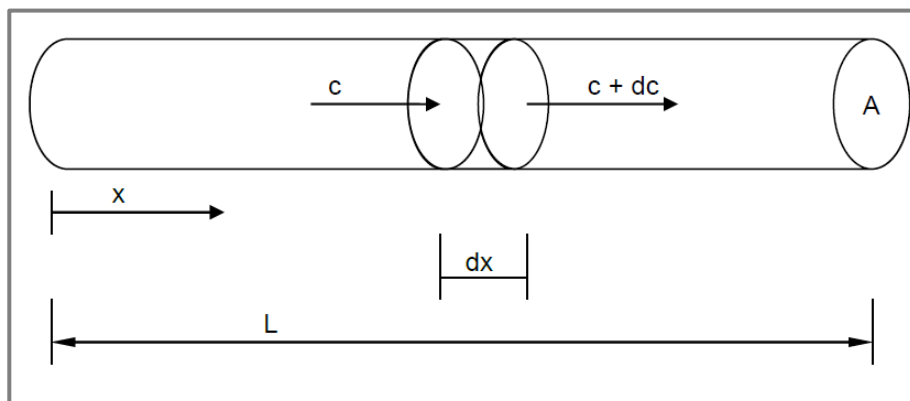


Figura 40: Balance de masa en una sección de la columna (Menacho Solà-Morales, 2012).

Teniendo claro las suposiciones, se procede con el análisis de la ecuación de balance de masas en el diferencial de volumen $\partial V = A \partial x$ de la sección tomada (Ver Figura 40); a través de esta fluirá una sustancia de concentración C_e a temperatura constante (isotérmica). En este volumen está contenido el fluido de la sustancia y las partículas del lecho fijo. A continuación se describen los términos que conforman a la ecuación de balance de masas:

La **Tasa de acumulación** del material está dada por el diferencial de masa con respecto al tiempo, siendo el volumen de control la sección tomada del lecho fijo:

$$\text{Tasa de acumulación del material} = \frac{\partial m}{\partial t}$$

La expresión se la puede expresar de la siguiente manera, pero tomando en cuenta que va a estar afectado por la porosidad ϵ del material adsorbente del lecho fijo:

$$\text{Tasa de acumulación del material} = \epsilon \partial V \frac{\partial C}{\partial t} = \epsilon A \partial x \frac{\partial C}{\partial t}$$

Donde ϵ es porosidad, A es el área transversal del lecho fijo [M²], ∂x es un diferencial de longitud [M], C es la concentración del adsorbato en la fase líquida [M/L³].

Tasa neta del material por dispersión y Tasa neta del material por convección, es la velocidad de transferencia de masa de la sustancia

que variará conforme avance a través de la longitud del lecho fijo que estarán afectados por la porosidad del material del lecho fijo ε , se distinguen dos tipos de transferencia: dispersión axial y convección o advección.

La primera ley de Fick establece que la transferencia de masa debido a la dispersión axial efectiva es proporcional al gradiente de concentración $-\varepsilon D_x \cdot \partial C / \partial x$, entonces la ecuación de la continuidad de masa transferencia por dispersión queda expresada de la siguiente manera según la Figura 40:

$$\begin{aligned} \text{Tasa neta por dispersión} &= \overbrace{-\varepsilon D_x A \frac{\partial C}{\partial x}}^{\text{Tasa que entra}} - \overbrace{\left[-\varepsilon D_x A \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(-\varepsilon D_x A \frac{\partial C}{\partial x} \right) \right]}^{\text{Tasa que sale}} \\ \text{Tasa neta por dispersión} &= \overbrace{\varepsilon D_x A \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}}^{\text{Tasa neta}} \end{aligned}$$

La transferencia de masa por convección es el transporte del adsorbato por medio de flujo del fluido, matemáticamente sigue la dirección del flujo y está dada por el producto entre la velocidad de filtración y la concentración de la fase fluida $u \cdot C$, entonces la ecuación de la continuidad de masa de transferencia por convección:

$$\text{Tasa neta por convección} = \overbrace{\varepsilon u_x A C}^{\text{Tasa que entra}} - \overbrace{\left[\varepsilon u_x A C + \frac{\partial}{\partial x} (\varepsilon u_x A C) \right]}^{\text{Tasa que sale}}$$

$$\text{Tasa neta por convección} = \overbrace{-\frac{\partial}{\partial x}(\epsilon u_x AC)}^{\text{Tasa neta}} \partial x$$

La tasa de pérdida por adsorción, representa la pérdida del adsorbato que se retiene por el material adsorbente en el diferencial de volumen; donde ρ es la densidad del adsorbente y q es la concentración de adsorbato removido por la fase sólida, está dado por la siguiente relación:

$$\text{Tasa de pérdida por adsorción} = (1 - \epsilon)\rho A \partial x \frac{\partial q}{\partial t}$$

Reemplazando los términos encontrados en la ecuación de balance de masas en un volumen infinitesimal y considerando que u , D_x son constantes y que la sección transversal de la columna de adsorción de lecho fijo es igual en cualquier posición a lo largo de la longitud del lecho de sección transversal A , se obtiene:

$$\epsilon D_x A \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \partial x - \frac{\partial}{\partial x}(\epsilon u_x AC) \partial x = \epsilon A \frac{\partial C}{\partial t} \partial x + (1 - \epsilon)\rho A \frac{\partial q}{\partial t} \partial x \quad [Ec.9]$$

Simplificando los términos constantes y dividiendo los términos de la ecuación de balance de masas para la porosidad ϵ , se tiene:

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon} \rho \frac{\partial q}{\partial t}$$

Si el flujo se supone isotérmico e incompresible, la velocidad axial se mantiene constante; es decir, considerar que el sistema funciona a flujo pistón, la dispersión axial puede ser ignorada (Zhang & Cheng, 2000), la ecuación de balance de masas de la columna de adsorción de lecho fijo es la siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \rho \frac{\partial q}{\partial t} = 0 \quad [\text{Ec.10}]$$

Lapidus y Amundson consideran dos casos especiales para las relaciones de equilibrio y no equilibrio entre las concentraciones en las dos fases (Patel, Metha, & Singh, 2014):

$$q = K_1 C + K_2$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_1 \frac{\partial C}{\partial t} - K_2 \frac{\partial C}{\partial t}$$

Usando el primer caso para condiciones de equilibrio y reemplazando en la ecuación de balance de masas, tenemos:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \rho \frac{\partial}{\partial t} (K_1 C + K_2) = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \rho K_1 \frac{\partial C}{\partial t} = 0$$

Donde K_1 y K_2 son constantes empíricas; la ecuación responde a condiciones de equilibrio respondiendo a una isoterma lineal para bajos

rangos de concentraciones de adsorbato en el solvente. La constante empírica K_1 es la pendiente de la isoterma de adsorción lineal.

Despejando el término $\frac{\partial C}{\partial t}$, tenemos lo siguiente:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{1}{\left[\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \rho K_1 + 1 \right]} u_x \frac{\partial C}{\partial x} \quad [Ec.11]$$

Con condiciones iniciales y de contorno:

$$C = C_0, t > 0, x = 0; \quad C = 0, t \leq 0, x > 0$$

CAPÍTULO 3.

3. TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGIA.

3.1. Levantamiento de información existente.

Las muestras fueron tomadas de los pozos Vargas Torres y El Paraíso, ya que son las principales fuentes de agua dentro del Recinto.



Figura 41: Pozo Vargas Torres presenta concentraciones de parámetros que no cumplen con las normas consideradas en la investigación.

La Figura 41 muestra el pozo Vargas Torres, el cual presenta una estructura metálica y un tanque elevado para la posterior distribución a la población más cercana al lugar. Es importante mencionar que dicha estructura no se encontraba al inicio de la presente investigación ya que se encontraba en construcción.

En el presente capítulo previo al estudio, fue necesario determinar si efectivamente el agua de la cual se abastece la población estaba o no contaminada, de manera que hubo que realizarse análisis de ciertos contaminantes que con frecuencia se presentan en las aguas subterráneas, especificados en la tabla XIX y XX, cuyos análisis fueron realizados por la empresa Químicos Marcos. Estos resultados fueron comparados con las limitaciones recomendables y límites máximos permisibles según las normas de calidad de agua para el consumo humano, NTE INEN 1 108:2011 “Agua potable, Requisitos” y Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULAS).

También se ha considerado la norma especificada por la Secretaría del Agua, en la cual se expresan límites muchos más exigentes de ciertos parámetros como es el caso de la dureza. Esta norma es derivada de la norma INEN 1108 y los parámetros no considerados fueron tomados de la norma IEOS, la cual trata del “Diseño de Sistemas de Abastecimiento

de Agua Potable y Disposición de Residuos Líquidos, para poblaciones con más de 1000 habitantes”.



Figura 42: Toma de muestras en el pozo El Paraíso por parte del representante de la empresa Químicos Marcos.



Figura 43: Previo a la toma de muestra según la metodología de Químico Marcos, el agua se deja fluir por 5 minutos previo a la toma de muestras.

Según la norma NTE INEN 1 108:2011 (Sección 5.3. Normas de calidad física, química, radiológica y bacteriológica del agua potable), para la presente investigación se han considerado los parámetros físicos tales

como la temperatura y sólidos totales disueltos; parámetros químicos como pH, dureza, compuestos orgánicos como plaguicidas, herbicidas y otros. Con estos valores se podría decir que el pozo llamado “Vargas Torres” es el que presenta más indicios de estar contaminado al no cumplir con las limitaciones máximas permisibles. A continuación se muestra las comparaciones de los resultados con los límites máximos permisibles:

Tabla XIX: Comparación de los parámetros analizados en el pozo El Paraíso.

Parámetro	Resultados	Límite Deseable	Límite Máximo Permissible	Unidades
Dureza total	97,6	120	300	mg/l CaCO ₃
Sólidos totales disueltos	208	500	1000	mg/l
Hierro	0,0502	0,2	0,8	mg/l
Manganeso	0,2448	0,05	0,1	mg/l
Pesticidas organoclorados	< 0,25	---	0,01	mg/l
Pesticidas organofosforados	< 0,45	---	0,1	mg/l

En la Tabla XIX correspondiente al pozo “El Paraíso” es evidente que no cumple las limitaciones respecto al manganeso, ya que sobrepasa los límites máximos permisibles. En el caso de dureza total, sólidos totales disueltos y el hierro se encuentran por debajo de los límites deseables, lo cual indicaría que el consumo del agua sería seguro para el caso de

estos parámetros. Finalmente para los compuestos orgánicos como son los pesticidas organoclorados y organofosforados no existe una precisión en los valores, de manera que puedan ser comparados con los límites máximos permisibles. Esto es debido a la precisión de los aparatos de medición ya que las concentraciones mínimas de lectura son de 0.01 mg/l, de manera que no se puede concluir si estos pozos están o no contaminados por pesticidas o plaguicidas.

Tabla XX: Comparación de los parámetros analizados en el pozo Vargas Torres.

Parámetro	Resultados	Límite Deseable	Límite Máximo Permissible	Unidades
Dureza total	409,2	120	300	mg/l CaCO ₃
Sólidos totales disueltos	476	500	1000	mg/l
Hierro	0,0194	0,2	0,8	mg/l
Manganeso	1,007	0,05	0,1	mg/l
Pesticidas organoclorados	< 0,25	---	0,01	mg/l
Pesticidas organofosforados	< 0,45	---	0,1	mg/l

En la Tabla XX se presentan las comparaciones de los resultados del pozo "Vargas Torres", donde parámetros como hierro y STD se encuentran por debajo de los límites deseables y el resto de parámetros a excepción de los compuestos organoclorados y organofosforados, están por encima de los límites máximos. Debido a que el pozo Vargas

Torres presenta mayores concentraciones de contaminantes se concluyó que es el pozo más contaminando.

El agua del pozo contiene sales, materia orgánica cuya proporción genera un exceso de estos contaminantes, de manera que el consumo de esta agua afecta a la población. En los alrededores del pozo hay presencia de grandes hectáreas de sembríos y con el tiempo las concentraciones de contaminantes en dicho sector pudieron haber aumentado. Por esta razón, el estudio de la eficiencia que tienen las zeolitas en la remoción de contaminantes se realizó con el agua proveniente del pozo Vargas Torres.

3.2. Metodología de muestreo.



Figura 44: Equipos empleados para la toma de muestras en los cuales están el pH-metro, Gps, termómetro y una pizarra en la cual se especifica la fecha en la cual se da el muestreo.

En la Figura 44 se describe el equipo básico usado por parte de la empresa “Grupo Químico Marcos” para la toma de muestras iniciales

previo a la investigación en ambos pozos. Para análisis generales de contaminantes, según la empresa "Grupo Químico Marcos", Laboratorio de análisis de aguas acreditado con normativas internacionales (International Organization for Standardization) ISO 17025, el instructivo o procedimiento que lleva a cabo para la toma de muestra de agua es el siguiente:

El rotulado debe contener la información básica para la identificación y procedimiento de la toma de muestras. El rotulado presentó la siguiente información:

- Nombre de la empresa.
- Número de la muestra.
- Lugar, sitio e identificación del punto de muestreo.
- Fecha y hora de toma de muestra.
- Responsable.

A continuación se describe la técnica o metodología de toma de muestras por parte de la empresa. En el siguiente orden se da la toma de muestras para el análisis físico-químico:

1. Rotular los envases que se van a utilizar.
2. Enjuagar el envase con el agua a muestrear, desechando el agua de enjuague.

3. Recoger la muestra sin dejar cámara de aire. Se puede un mínimo sin llenar que permita la variación de volumen debido a las diferencias técnicas. Si se le va a agregar algún conservante contemplar el volumen necesario.
4. Cerrar el envase.
5. Guardar las muestras en una hielera para garantizar la integridad de las mismas.

En caso de tomar muestras de un grifo se indican los siguientes pasos:

1. Rotular los envases que se van a utilizar.
2. Abrir la llave y dejar correr el agua por 2 a 3 minutos.
3. Enjuagar el envase con el agua a muestrear, desechando el agua de enjuague.
4. Recoger la muestra sin dejar cámara de aire. Se puede un mínimo sin llenar que permita la variación de volumen debido a las diferencias técnicas.
5. Cerrar el envase y guardar las muestras en una hielera con hielo.

El volumen de muestra considerada en la toma de muestra se expresa en la siguiente tabla según el tipo de agua:

Tabla XXI: Volumen de muestra.	
Aguas sentinas	1 frasco de 500 ml (medio litro)
Aguas negras	2 frascos de un litro y un envase estéril
Fuente: Grupo Químico Marcos	

Una vez que se determinó el pozo con mayor contaminación, las posteriores tomas de muestras se las realizaron cada tres días, adoptando la metodología de la misma empresa. Esta distribución de días para los muestreos, se debió a las variaciones climáticas que se presentaban durante la época invernal, Además que los resultados variaron de modo que se tuvieron valores mejor distribuidos, facilitando de esta manera la aplicación de modelos matemáticos lineales para estimaciones de concentraciones finales.

3.3. Procesos para el control de calidad de agua en campo.

Los indicadores de primer orden pueden analizarse con relativa facilidad usando técnicas estándar y equipo de laboratorio. En muchos casos podrían ser medidos mediante sensores remotos ubicados en pozos o en puntos de descarga. La medición de pequeños cambios ambientales requieren de alta precisión y exactitud. Los cambios en la calidad del agua subterránea son normalmente perceptibles a escala estacional o anual. Los procesos de dispersión, difusión - advección, reacción y mezcla implican que la adición de pequeñas cantidades de contaminantes sea comúnmente difícil de detectar. En estos procesos es necesario tener mucho cuidado para asegurar que los sitios de muestreo sean representativos del régimen de flujo del agua subterránea, tanto vertical como horizontalmente.



Figura 45: Medición de la temperatura y pH, Previo a la toma de muestra, en el pozo denominado "El Paraíso".

En la Figura 45, se presenta como medir parámetros como la temperatura y el pH, previo a la toma de muestra en ambos pozos. Estas mediciones como es evidente se las realizó en campo teniendo como resultado una temperatura de 26.5°C en el pozo "El Paraíso" y un pH de 7.61. Por otro lado en el pozo Vargas Torres se tuvo una temperatura de 28.1°C y un pH de 7.6. Con dichos resultados según la norma NTE INEN 1 108:2011 (Tabla 9. Calidad organoléptica) el límite recomendable para el pH debe estar entre 7 y 8.5, por lo que se puede indicar que se trata de agua neutra.

3.4. Descripción del material utilizado en el filtro.

Para el presente proyecto de investigación el material fue extraído de la cordillera Chongón-Colonche, sector Isidro Ayora. Tamaño de partículas que se encuentran en el rango de 1 mm hasta los 2.3 mm de

granulometría según lo especificado al momento de adquirir dicho material. Posteriormente el material fue clasificado en el laboratorio de suelos ubicado en la facultad de Ingeniería en ciencias de la tierra, para realizar las columnas de filtros. Los resultados de granulometría determinaron mayoritariamente, tamaño de partículas entre 0.6 mm a 1.180 mm, correspondientes a la malla #30 y malla #16 respectivamente.



Figura 46: Material Zeolítico mezclado con diferentes granulometrías.

3.5. Diseño del medio filtrante.

Las dimensiones consideradas de las columnas según las investigaciones y disposición de los materiales, son de 2 pulgadas de diámetro interno, espesor de 4 mm y columnas de 40, 60 y 80 cm de longitud del material filtrante, cada uno de ellos cuenta con una llave de seguridad en el extremo inferior, de modo que se regule la salida del agua. El caudal de salida fue estimado en todos los filtros y los resultados se exponen en la Tabla XXVIII, capítulo 4.

El diseño está basado para remover los contaminantes disueltos tales como el manganeso y dureza. Para el presente diseño se ha considerado la clasificación de filtros dispuesto en la normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, según la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS). En la siguiente tabla se describe las características y tipos de filtros.

Tabla XXII: Clasificación de filtros rápidos.	
Característica	Tipo de filtro
Tipo de pretratamiento	Convencional, Filtración directa, Coagulación por contacto y Filtración
Tipo de flujo	Descendente, Ascendente, Mixto
Medio filtrante	Arena sola, Arena y antracita, Medios múltiples
Tasa de filtración	Constante, declinante
Modo de operación	Gravedad, Presión
Fuente: Norma de la Secretaría del agua	

Según la Tabla XXII, para este caso se ha considerado un tipo de filtración directa, es decir que no hubo un proceso previo de sedimentación ya que son aguas subterráneas y no es necesario implementar dicho tratamiento. El modo de operación del filtro fue por gravedad, de manera que se tiene un flujo descendente en donde la tasa de filtración fue constante dado para un medio filtrante hecho únicamente de zeolita.

3.5.1. Componentes.

Para el armado del filtro en la Figura 47 se puede observar el material que se utilizó para los tres filtros.

- Manguera de fibra transparente de 2 pulgadas de diámetro y 4 mm de espesor.
- 1 taladro y el respectivo juego de brocas de campana.
- 3 válvulas de salida del agua filtrada.
- 6 tapones de registro de 2 pulgadas.
- Entre los componentes menores están 3 abrazaderas, 7 grapas, pernos, tuercas, entre otros.
- Material zeolítico mezclado, mayoritariamente conformado por material retenido en la malla #16, malla #20 y malla #30.



Figura 47: Material implementado para el armado de los tres filtros.

3.5.2. Funcionamiento.

Se vierte el agua proveniente del pozo Vargas Torres, este proceso se lo realiza para cada uno de los tres filtros, los cuales tendrán un caudal de salida controlado de tal manera que al final del proceso se pueda determinar la eficiencia del mismo en remover el manganeso y dureza.

Durante todo el proceso de filtrado, los filtros operaron de forma vertical. Para cada corrida, el material fue previamente lavado con agua destilada, para que la eficiencia en remover contaminantes no se vea afectada.

3.6. Proceso de armado del medio filtrante.

Para el diseño del filtro se tomó en consideración mezclar el material con diferentes granulometrías, de manera que puedan ser comparados y la zeolita cumpla su función como material adsorbente respecto a los contaminantes disueltos.

- Se clasificó el material, debido a que la zeolita se lo adquirió con diferente granulometría. Es importante que las impurezas sean extraídas de manera que el material quede totalmente limpio para garantizar su función como material adsorbente en el medio filtrante. Se utilizó la malla #16, malla #20, malla #30, teniendo

como resultado material predominante de 1.180 mm, 0.850 mm, correspondientes a la malla #16 y malla #20 respectivamente.



Figura 48: Tamices empleados para la clasificación del material y eliminación de impurezas volátiles, previo al lavado.

- Como segundo paso, el material es previamente lavado, ya que fue expuesto a los impactos de las variaciones climáticas en diferentes épocas del año en su entorno natural, pudo haber sido alterada su estructura, consecuentemente la eficiencia en sí, se vería alterada.



Figura 49: Lavado del material zeolítico con presencia de impurezas suspendidas.



Figura 50: Material zeolítico previo al lavado y después del lavado.

- El siguiente paso es el proceso de secado al horno a una temperatura constante, con la finalidad de eliminar sustancias volátiles de manera que se tiene un material totalmente seco. Es por eso que durante este proceso mediante el empleo del calor como energía se busca evaporar la humedad de la superficie e internamente.



Figura 51: Zeolita correspondiente al retenido en la malla #16 y malla #20, previo al proceso de secado.

- Como último paso se tiene el armado del filtro, una vez que se tiene el material y los equipos necesarios.



Figura 52: Material colocado en el horno a una temperatura constante.

Para las columnas de los filtros se realizaron cortes en la manguera, de manera que la altura del material colocado dentro de cada tubo fue de 40 cm, 60 cm y 80 cm. Previo al colocado de la zeolita se realizó las correspondientes perforaciones para la ubicación de las llaves de agua de manera que el caudal de salida pudiera ser controlado durante todo el

proceso. Para evitar la salida del material granulado y tener datos mucho más reales se colocó papel filtro en las partes inferiores de las columnas y en la parte exterior se selló las uniones de manera que se evitó las filtraciones. Por último se colocó el material mezclado con diferentes granulometrías especificadas en la Tabla XXIII, con la finalidad de que el sistema de filtración sea mucho más eficiente y puedan ser comparados. Como se observa en la Figura 53 las paredes transparentes de las columnas permiten visualizar el material de filtro y el flujo del agua que pasa a través del medio, permitiendo ver de esta manera como se va saturando el material conforme el agua desciende.



Figura 53: Columnas adaptadas a la madera de plywood mediante las grapas, con la finalidad de mantenerlos vertical durante los procesos de filtración.

En la siguiente tabla se puede observar como la proporción del material retenido en las mallas No. 16 y No. 30 son similares, de forma que no hay mucha variación, es decir que la proporción del material en todos los filtros es el adecuado.

Tabla XXIII: Comparación de los porcentajes retenidos de los tres filtros.

# Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido		
		Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
3"	75	0,000	0,000	0,000
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,000
3/4"	19	0,000	0,000	0,000
3/8"	9,5	0,000	0,000	0,000
No. 4	4,75	0,000	0,000	0,000
No. 8	2,36	0,011	0,015	0,020
No. 16	1,18	44,381	45,722	43,613
No. 30	0,6	55,561	54,239	56,340
No. 50	0,3	0,037	0,020	0,022
No. 100	0,15	0,006	0,003	0,003
No. 200	0,075	0,001	0,001	0,002
Fondo		0,002	0,001	0,001
Total		100,000	100,000	100,000
Peso parcial (gr)		924,510	1377,470	1804,250

El análisis granulométrico se lo realizo empleando la norma ASTM D 422-63, la cual trata de métodos de análisis del tamaño de las partículas de suelo. El objetivo de esto fue determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de partículas que han sido empleados en cada filtro.

3.7. Metodología aplicada para los análisis de la dureza en el agua del Pozo Vargas Torres.

La dureza fue determinado usando el principio de quelación, es decir que se empleó sustancias que atrapan productos indeseables en su estructura (Enciclopediasalud, 2015), tal como el titulador ácido etildiaminotetraacético (EDTA) Standard solution 0,010M (0,020N). Además se utilizó un indicador de color, de manera que el punto final de titulación es de color azul. Para los análisis se utilizó un volumen de muestra de 50 ml cuyo rango y factor para los posteriores cálculos, se describen en la siguiente tabla:

Tabla XXIV: Rangos de concentración y selección de muestra.

Rango (mg/l CaCO ₃)	Volumen de muestra (ml)	Concentración del titulante	Factor
0-500	50	0,020N	20
400-1,000	25	0,020N	40
1,000-2,500	10	0,020N	100
1,000-5,000	50	0,020N	200
4,000-10,000	25	0,020N	400
10,000-25,000	10	0,020N	1000

Entre los equipos implementados están el vaso de precipitación, matraz aforado, matraz Erlenmeyer, Agitador – Calentador, agitador magnético, bureta graduada, base de soporte, pipeta mecánica de 1 ml. De igual manera se tiene sustancias o soluciones necesarias para la titulación

durante el proceso de análisis del agua, tales como agua destilada tipo I, agua destilada Tipo III, Buffer solution, el (EDTA) Standard solution y el indicador del contaminante (Ver Figura 54).



Figura 54: Equipos y soluciones empleados para los análisis de las muestras.

Para la determinación del blanco se tomó 50 ml de agua destilada o agua libre, de manera que las muestras también deben tener el mismo volumen; luego es transferido al matraz Erlenmeyer de 250 ml, en donde se le agrega 1 ml de la solución Buffer; finalmente se lo mezcla y se deja reposar por un minuto. A continuación se presenta la metodología para el análisis de las muestras de agua:

1. Previo al análisis en general todo material fue lavado con agua destilada y secado al horno a temperatura constante.

2. Luego de cerciorarse de tener todos los equipos y soluciones listas se empezó por enjuagar el vaso de precipitación con la muestra y llenarlo de manera que pueda ser vaciado con facilidad en el matraz aforado de 50 ml. Posteriormente es vaciado al matraz Erlenmeyer, en donde se realizó la titulación. Después se enjuagó el matraz aforado con agua destilada y se vertió el restante en el matraz Erlenmeyer.
3. Se colocó un agitador magnético y con ayuda de una pipeta mecánica se vertió 1 ml de Buffer solution; luego se colocó el indicador en polvo y se mezcló constantemente por 1 minuto aproximadamente hasta que el indicador se diluyó por completo y el agua adquirió un tono fucsia.
4. La muestra se colocó debajo de la bureta, el cual estaba sujeto mediante un soporte de manera que se pueda manipular con facilidad y medir el volumen inicial y final del (EDTA) Standard solution consumido para que se dé la titulación de la muestra.
5. El (EDTA) Standard solution fue vertido mediante la bureta lentamente hasta producir un ligero cambio de color fucsia al azul, de manera que la titulación se dio de forma visual. Finalmente con estos datos se realizó los cálculos correspondientes y se determinó la concentración de dureza presente en el agua.



Figura 55: Análisis de la concentración de la dureza, previo a la titulación y después de la misma.

En la Figura 55 se puede apreciar la muestra que está sobre el Agitador – Calentador, y la muestra a la derecha corresponde al agua destilada la cual nos indica durante el análisis, como debe quedar la titulación ya finalizada.

3.8. Técnicas aplicadas para la remoción del manganeso.

Para la remoción de este metal, según la Norma que implementa la Secretaría del agua la remoción se da oxidando el Mn para lo cual se puede utilizar oxígeno, cloro, dióxido de cloro o permanganato de potasio como comúnmente se lo hace, en donde se controla el pH de manera que se mantenga entre 7,5 y 9,5; también se controla la alcalinidad del agua de manera que sea mayor a 100 mg/l como CaCO_3 , para mejorar la eficiencia durante el proceso de remoción. Entonces como ya se ha mencionado la concentración de dureza en el pozo Vargas Torres es de 409.2 mg/l CaCO_3 y el pH está dentro del rango mencionado, por lo que

se podría decir que la eficiencia del filtro propuesto en el presente trabajo estuvo garantizada desde la parte inicial del proceso.

Posterior a la retención del manganeso en la superficie de la zeolita fue la oxidación formando una película de óxidos sobre el material granulado, el cual debido a las propiedades de adsorción sigue removiendo el contaminante (Verguinia, Lourdes, Soberanis, & Carbajal).

3.9. Metodología aplicada para los análisis de manganeso en el agua de Pozo Vargas Torres.

Los equipos y materiales empleados para los análisis son: Vaso de precipitación, Agitador – Calentador, agitador magnético, pipeta mecánica de 1 ml y 4 ml, entre otros.



Figura 56: Equipos y reactivos implementados para el desarrollo del análisis de manganeso.

A continuación se presenta la técnica aplicada para el análisis de las muestras de agua:

1. Se preparó el blanco que sirve como un valor referencial para determinar las concentraciones de manganeso presente en las muestras. Para esto se tomó 8 ml de agua destilada o agua libre con ayuda de una pipeta mecánica, de manera que las muestras también deben tener el mismo volumen; luego es transferido al tubo de ensayo plástico y colocado en la gradilla.
2. Las muestras fueron vaciadas en vasos de precipitación, se les coloca un agitador magnético a cada muestra y se los ponen sobre un Agitador – Calentador, de manera que la muestra siempre este en constante movimiento al momento de ser pipeteadas. Es importante recordar que las muestras deben estar entre 15 a 40 grados Celsius.
3. Se tomaron 8 ml de muestra con ayuda de una pipeta mecánica y se la vertió en un tubo de ensayo plástico y colocado en la gradilla. Para los siguientes pasos en los cuales se añaden los diferentes reactivos es importante que los frascos se mantengan verticalmente durante el proceso. Además Recordar que estos reactivos son añadidos de igual manera para los 8 ml de agua destilada, que servirá de blanco.
4. Añadir el Reactivo Mn-1. Consistió en añadir 1 microcucharada gris rasa con ayuda de la tapa del frasco, luego agitar vigorosamente con ayuda de un agitador mecánico o con la mano

en caso de no contar con dicho equipo, hasta que el reactivo se diluyó por completo.

5. Añadir el Reactivo Mn-2. Con ayuda de una pipeta mecánica se añadió 2 ml de dicho reactivo y posteriormente el mezclado.
6. Añadir cuidadosamente el Reactivo Mn-3, el cual consistió en añadir tres gotas de cianuro potásico a cada muestra. En este paso se debe tener cuidado ya que la sustancia es tóxica y la inhalación en niveles elevados puede causar la muerte.
7. Por último se añadió rápidamente 0.25 ml del Reactivo Mn-4 y se mezcló inmediatamente. Luego de agitar las muestras se dejó reposar por 10 minutos, tiempo en el cual reacciona el reactivo, luego se introdujo la muestra de medición cuidadosamente en la cubeta y se tomó las mediciones en el Espectrofotómetro.

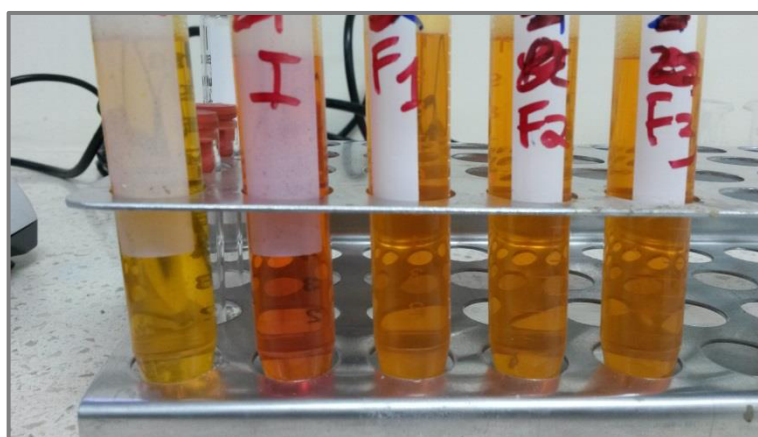


Figura 57: Muestras con los reactivos, previo a la medición en el Espectrofotómetro (Equipo de medición de concentración de Manganeso).

En la Figura 57 se puede apreciar como la muestra inicial presenta mucho más color que las muestras después de las corridas, es decir que la concentración inicial presenta mucho más concentración de manganeso que el resto de las muestras.

3.10. Experimentación con filtros de zeolita.

Todas las corridas de los filtros se las realizó en el laboratorio de suelos, ubicado en la facultad de ciencias de la tierra y los análisis de parámetros como la dureza y manganeso fueron realizados en el laboratorio del ICQA. Estos resultados se expresan en el siguiente capítulo.

El material usado en el filtro tiene granulometría correspondientes a la malla #16, malla #20, malla #30, es decir 1.18 mm, 0.85 mm y 0.6 mm. Durante todo el proceso de filtrado, se trató de mantener una carga hidráulica constante, entre 8 y 10 cm de agua sobre el nivel de la superficie del material granulado, es decir que las alturas correspondientes al material granulado siempre se mantuvieron saturadas. Además fue evidente durante las corridas, que la elevación de las columnas de agua aumentó el caudal de salida, es decir que a mayor altura de las columnas hubo mayor carga de agua. Para esto se empleó una probeta graduada de 250 ml en la cual se tomó el tiempo al alcanzar los volúmenes especificados en la tabla XXV. En la tabla se expresan los

tiempos estimados en segundos, con los cuales se estima el caudal de salida con lo que trabajan los tres filtros. Posteriormente una vez finalizado las corridas y conocido la altura y el diámetro interno, se determinó el volumen y el peso del material contenido en los tres filtros y luego se calculó la densidad aparente en gr/cm³.

Tabla XXV: Tiempos estimados en segundos.

Volumen (ml)	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
30	16,78	12,83	6,03
50	25,15	23,15	11,76
70	33,52	31,57	17,54
90	42,53	38,08	23,26
110	50,25	45,98	30,43
130	59,45	54,01	37,39
150	68,25	61,42	44,89
170	78,27	68,67	51,93
190	87,47	76,39	59,44
210	97,69	84,4	65,8
230	108,53	91,68	73,22
250	122,35	100,21	80,66

A continuación se presenta la tabla XXVI, describiendo las densidades aparentes de los tres filtros, cuyos valores podrían servir para determinar las estimaciones empleando la ecuación 11 propuesta en el capítulo dos:

Tabla XXVI: Densidades aparentes en gr/cm³.

Condición del material	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
Seco	0,29	0,28	0,28
Húmedo	0,30	0,30	0,29

Con la Tabla XXVI se puede determinar la densidad promedio en condiciones seca, cuyo valor es de 0.283 gr/cm³ y una densidad promedio en condiciones húmedas de 0.297 gr/cm³.

Con los resultados de las densidades aparentes se podría decir que al tener una mayor densidad, el material es menos poroso. Una mejor explicación de esto se da con ayuda del caudal de salida, ya que al momento de realizar la primera corrida, el tiempo que le tomaba en llenar cierto volumen era mucho menor comparado cuando el material estaba saturado. Todo esto ocurre porque el material seco desde un inicio no se encontraba apisonado y posteriormente en las siguientes corridas, la altura del material se fue reduciendo hasta 2 y 3cm, es decir que los tres filtros se apisonaron en promedio 2.5 cm, de manera que para el filtro #1 de 40 cm se iba a tener ahora una altura de 37.5 cm como material humedecido.

CAPÍTULO 4.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el presente capítulo se presentan los resultados de las corridas de los filtros y los análisis de los parámetros como dureza y manganeso. Para cada parámetro se realizó las corridas por los tres filtros. Posteriormente según las concentraciones iniciales y finales, se ha determinado el porcentaje removido por cada uno de los tres filtros, luego se comparó dichos resultados y se tomó el filtro que más contaminante removió. Una vez seleccionado el filtro más eficiente se realizaron los posteriores muestreos y corridas por el mismo, con los cuales se determinó que tan eficiente es dicho filtro. Para los cálculos de los porcentajes de remoción se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{Removido} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \quad [\text{Ec.12}]$$

Donde el C_i corresponde a la concentración inicial y el C_f corresponde a la concentración final, ambas expresadas en mg/l.

4.1. Estimación de caudal.

Para la estimación de caudales se cronometró el tiempo necesario que le toma al filtro en alcanzar los volúmenes especificados en la siguiente tabla:

Tabla XXVII: Caudales de salida estimados en los filtros (ml/s).

Volumen (ml)	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
30	1,788	2,338	4,975
50	1,988	2,160	4,252
70	2,088	2,217	3,991
90	2,116	2,363	3,869
110	2,189	2,392	3,615
130	2,187	2,407	3,477
150	2,198	2,442	3,342
170	2,172	2,476	3,274
190	2,172	2,487	3,197
210	2,150	2,488	3,191
230	2,119	2,509	3,141
250	2,043	2,495	3,099

En la Tabla XXVII se muestra como los caudales correspondientes al filtro #1 son menores a los caudales del filtro #2 y filtro #3, es decir que a

mayor longitud se tendrá un mayor caudal de salida. Esto se debe a la carga hidráulica que tiene cada filtro, siendo de mayor carga el filtro #3 por tener mayor longitud. En la Figura 58 se observa que el filtro #3 tiene un mayor caudal para cualquier volumen y decrece conforme pasa el tiempo, es decir que el caudal no permaneció constante durante todo el proceso de filtración, esto se debe a que el flujo que ingresaba no siempre era constante, es decir que la carga hidráulica en los primeros puntos fueron mayores a 10 cm, como ya se lo había mencionado.

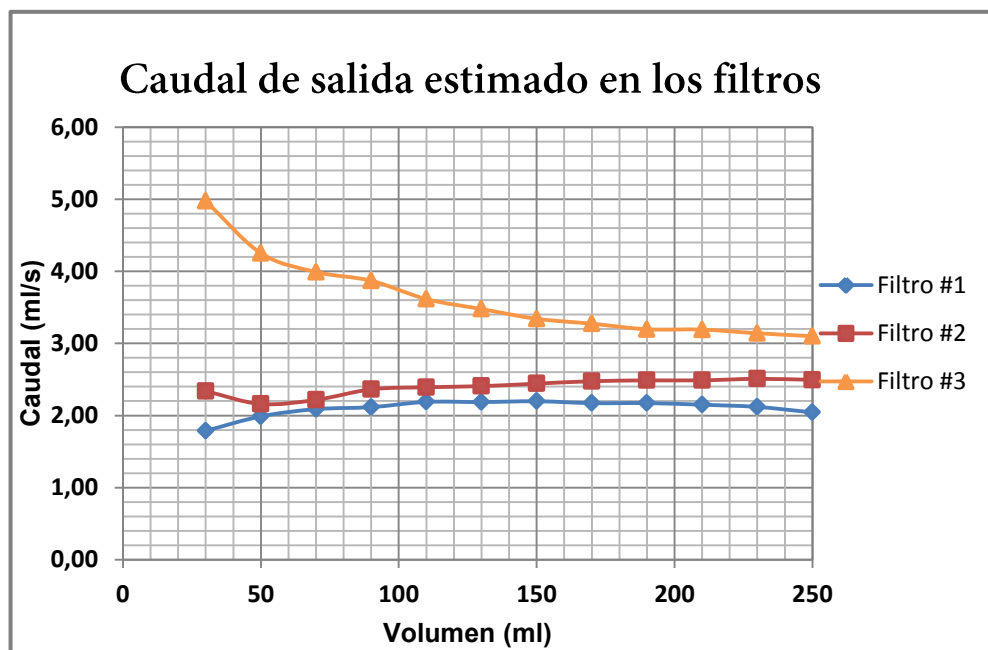


Figura 58: Gráfica de variación de caudales según el filtro empleado, para un volumen que parte de 30 ml a 250 ml.

En el filtro #2, a los 50 ml y 70 ml se redujo el caudal de salida. Estos caudales debieron permanecer constantes durante todo el proceso, de manera que la variación entre cada punto sea lo más pequeño posible.

Por lo que se determinó los promedios para cada uno de los filtros, cuyos resultados se exponen en la siguiente tabla:

Tabla XXVIII: Caudales promedios en ml/s.

Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
2,101	2,398	3,619

4.2. Resultados y análisis de dureza.

Para los análisis de este parámetro los resultados de las concentraciones han sido promediados, ya que para corroborar dichos resultados se realizaron dos análisis por muestra. Esto se hizo debido a que las concentraciones eran muy cercanas.

Tabla XXIX: Resultados de los análisis de dureza en la primera corrida por los tres filtros.

	Concentración inicial	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)	Unidades
Muestra	404	276	238	272	mg/l CaCO ₃
Réplica	390	263	204	265	mg/l CaCO ₃
Promedio	397	269,5	221	268,5	mg/l CaCO ₃

En la Tabla XXIX se muestra los resultados y concentraciones promediados, en donde la menor concentración es de 221 mg/l CaCO₃, correspondiente al filtro #2.

De manera gráfica, en la Figura 59 se hace la comparación de los tres filtros, donde el 0 representa la concentración inicial previo a las corridas por los tres filtros, el 1, 2 y 3 corresponden a los filtros de 40 cm, 60 cm y 80 cm respectivamente. La variación de concentración en el filtro #2 es mayor, de manera que la concentración final del filtro es el menor de todos, siendo evidente que se removió mucho más dureza que el resto.

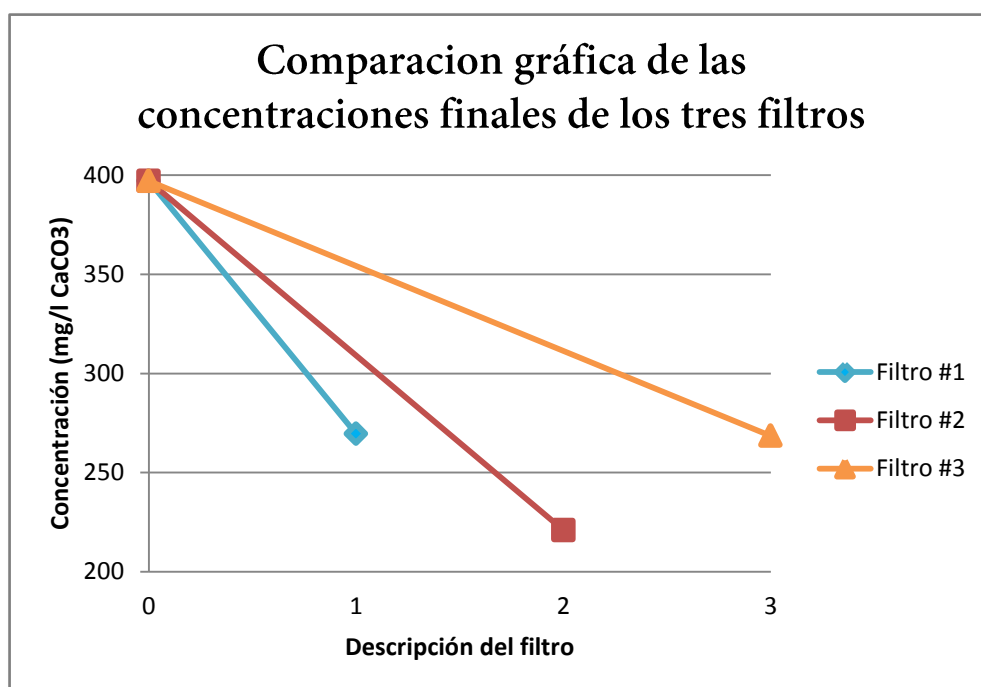


Figura 59: Resultados promedios de las concentraciones finales e inicial.

Para determinar los porcentajes de remoción de cada filtro se empleó la ecuación 12, con la cual se determinó que la concentración de minerales como el calcio y el magnesio se redujo en un 44,33%, siendo el porcentaje correspondiente al filtro #2. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los porcentajes removidos por cada filtro:

Tabla XXX: Porcentajes de remoción de los filtros.

Porcentaje	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
% Removido	32,12	44,33	32,37
% Pasante	67,88	55,67	67,63

De forma gráfica los porcentajes de remoción se muestran en el siguiente diagrama de barras, donde 1, 2 y 3 corresponden a los filtros de 40 cm, 60 cm y 80 cm respectivamente.

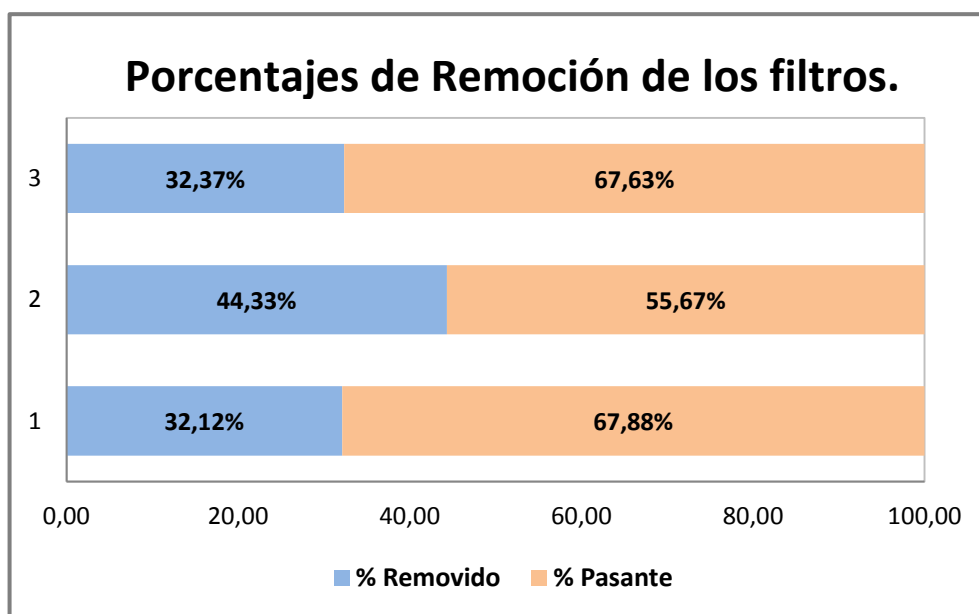


Figura 60: Comparación de los filtros para determinar el más eficiente.

En los siguientes gráficos de torta se muestra los porcentajes aproximados de remoción para cada uno de los filtros, donde los porcentajes de los filtros 1 y 2 tienen valores similares, es decir que independientemente de la altura, no habría que implementar filtros con

altura de material filtrante que bordeen los 80 cm, si no que bastaría emplear un filtro de 40 cm, de manera que sea igual de eficiente y se mantenga la capacidad de adsorción. Con estos resultados se podría decir que si los habitantes optan por este tipo de tratamiento podrían implementar filtros que impliquen menos costos cuyos resultados sean igual de eficientes.

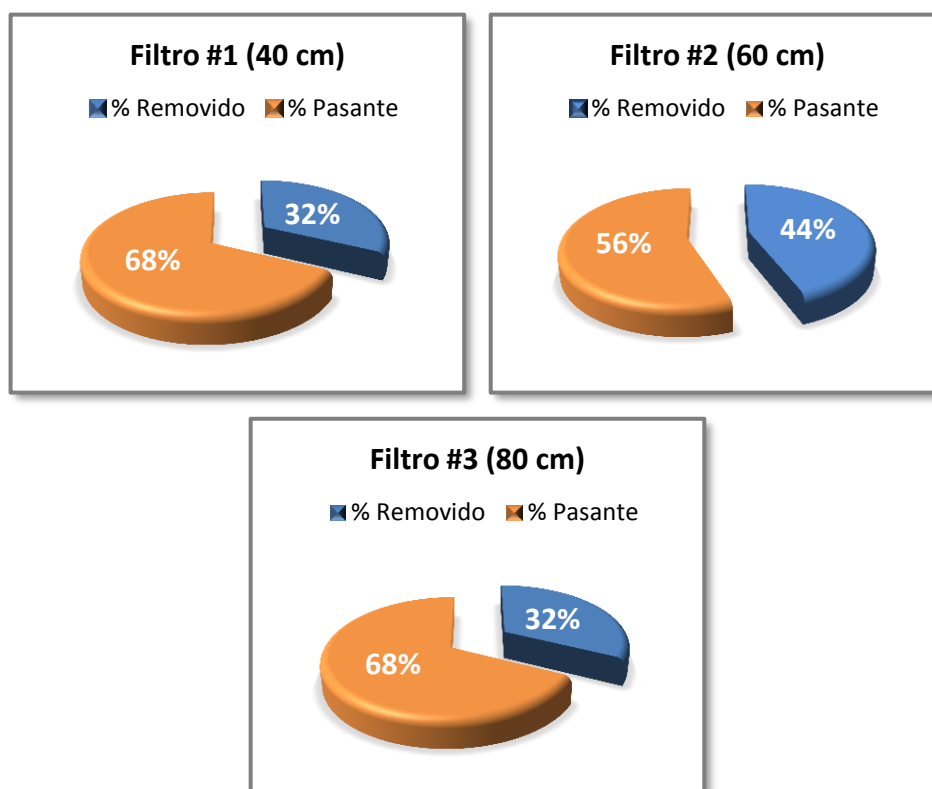


Figura 61: Comparación de los porcentajes removidos de dureza.

En la Tabla XXXI, luego de conocer que filtro fue el más eficiente se realizó los muestreos restantes con los cuales se determinó un porcentaje de remoción promedio del filtro, la cual es del 42,10%.

Además se encuentran las concentraciones iniciales previo a las corridas por el filtro, concentraciones finales y los porcentajes removidos por cada corrida.

Tabla XXXI: Resultados de los análisis de dureza realizado en el filtro más eficiente.

Concentración inicial (mg/l CaCO ₃)	Filtro #2 (mg/l CaCO ₃)	% Removido	
1ra Corrida	397	221	44,33
2da Corrida	391	208	46,80
3ra Corrida	398	258	35,18

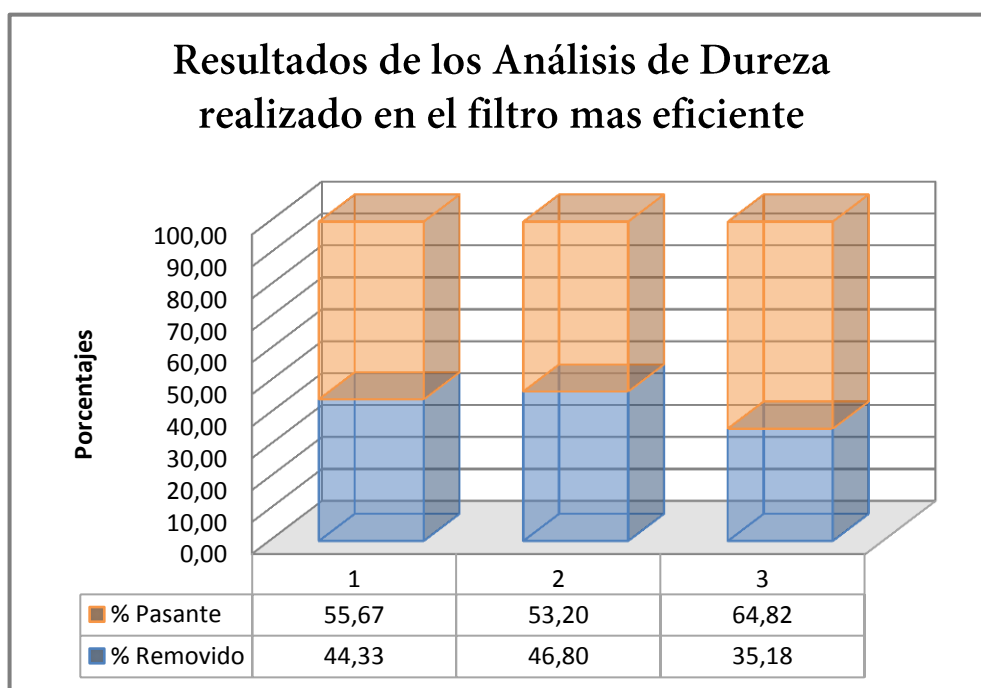


Figura 62: Resultados, expresados en porcentajes correspondientes a las corridas realizadas en el filtro #2.

En la gráfica anterior (Figura 62) se muestran los resultados obtenidos correspondientes a cada corrida, donde 1, 2 y 3 representan el orden de las corridas expuestas en la Tabla XXXI. Para lo cual no hay mucha variación en los dos primeros porcentajes. En la última corrida se ve una reducción de remoción considerable y esto pudo ser porque el filtro al remover dureza en las primeras dos corridas, se va saturando, es decir que va perdiendo la eficiencia en remover minerales como calcio y magnesio.

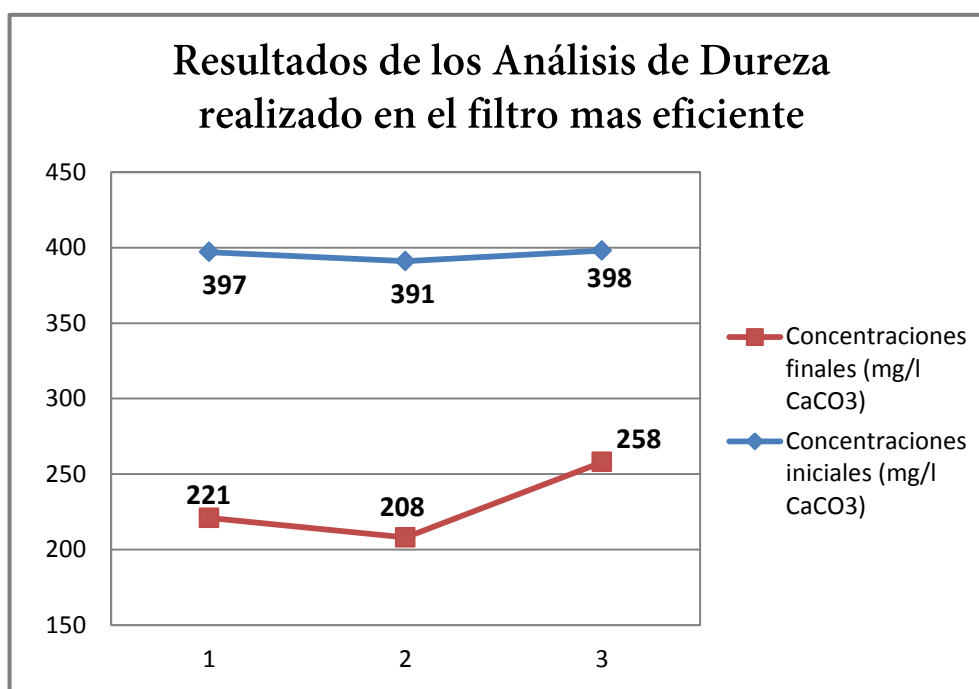


Figura 63: Comparación de concentraciones iniciales y finales.

En la Figura 63 se muestran las concentraciones iniciales y finales, donde el 1, 2 y 3 representan las corridas realizadas durante la investigación. Es notorio que las concentraciones iniciales no varían

mucho conforme se han tomado las muestras, es decir que conforme el tiempo transcurre no tienen mucha variabilidad y esto podría ser ya que las muestras fueron tomadas solamente en época invernal.

La presencia de calcio, magnesio y otros minerales en el agua del pozo Vargas Torres no cumplieron las limitaciones indicadas en las Tablas XIX y XX, mostradas en el capítulo tres. Por lo que posterior a las corridas en el filtro se obtuvo resultados favorables con los cuales se puede concluir que la eficiencia del filtro fue el esperado ya que removió entre el 35% y 47%. Además estas concentraciones cumplen con los límites máximos permisibles según la norma de la Secretaría del Agua, donde las concentraciones deben ser menores a 300 mg/l CaCO₃.

Tabla XXXII: Concentraciones estándar para la interpretación del agua subterránea.

Concentración (Ca + Mg)	Características
0-75 mg/l	Blanda
75-200 mg/l	Moderadamente dura
200-300 mg/l	Dura
>300 mg/l	Muy Dura

Fuente: (Soto, 2009)

Una interpretación de la dureza en el agua, según la Tabla XXXII, respecto a las concentraciones iniciales y finales son las siguientes:

- Las concentraciones iniciales se encuentran entre 391 a 398 mg/l CaCO_3 , de manera que era considerada agua muy dura.
- Las concentraciones finales de dureza varían entre 221 y 258 mg/l CaCO_3 , de manera que cumplen las limitaciones máximas permisibles y además se la puede considerar como agua dura.

4.3. Resultados y análisis de Manganeseo.

La zeolita es un elemento que opera como intercambiador iónico sobre el cual se fijan rápidamente los iones de manganeseo. Además es un material de gran porosidad y menor peso específico, en comparación a otros materiales como lo es la arena. Mediante los experimentos que se realizó en la presente investigación se ha determinado que los filtros a base de zeolita son eficientes al momento de remover este tipo de contaminante químico. La remoción de los tres filtros se encuentran en un rango (78 a 82) % y para el filtro que se determinó como el más eficiente se tiene una remoción de 81.77 %. Todos los resultados se expresan en las tablas y graficas posteriores.

A continuación se muestra la siguiente tabla con los resultados que determinaron que filtro fue el más eficiente:

Tabla XXXIII: Resultados de los análisis de Manganeseo en la primera corrida.

Muestra inicial	Filtro # 1 (40 cm)	Filtro # 2 (60 cm)	Filtro # 3 (80 cm)	Unidades
0,62	0,134	0,113	0,127	mg/l

En la gráfica siguiente se muestra la comparación de los resultados expuestos en la Tabla XXXIII, con los cuales se determinó que el filtro #2 removi6 mayor concentraci6n de contaminante, cuyo valor inicial fue de 0.62 mg/l hasta llegar a los 0.113 mg/l. La concentraci6n inicial est6 representada por el 0, el 1, 2 y 3 corresponden a las concentraciones de los filtros de 40 cm, 60 cm y 80 cm respectivamente.

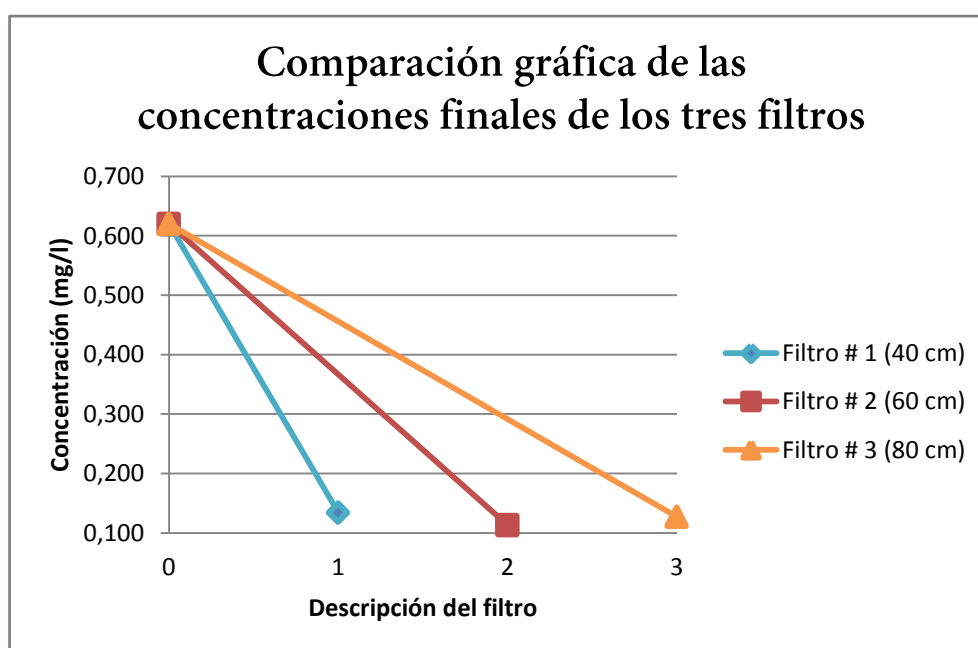


Figura 64: Resultados de las concentraciones finales e iniciales.

Para determinar los porcentajes de remoción de cada filtro se empleó la ecuación 12, con la cual se determinó que la concentración de manganeso se redujo en un 81.77%, siendo el más eficiente el filtro#2. En la presente tabla se muestran los resultados de los porcentajes removidos para cada filtro:

Tabla XXXIV: Porcentajes de remoción de los filtros.

Porcentaje	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
% Removido	78,39	81,77	79,52
% pasante	21,61	18,23	20,48

En el siguiente diagrama de barras se muestra los porcentajes mostrados en la Tabla XXXIV:

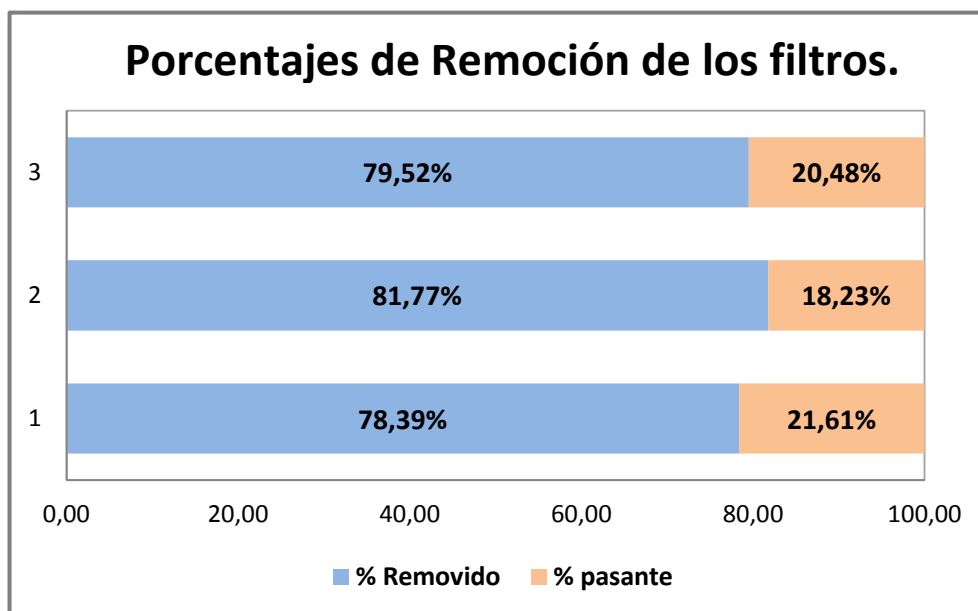


Figura 65: Comparación de los porcentajes removidos.

En los siguientes gráficos de torta se muestra los porcentajes aproximados de remoción para cada uno de los filtros, donde varían en un 2%. En comparación a los resultados de remoción de dureza, este parámetro tampoco depende de la altura del filtro, de manera que no habría que implementar filtros con altura de material filtrante que bordeen los 80 cm, si no que bastaría emplear un filtro de 60 cm para obtener una mayor remoción.

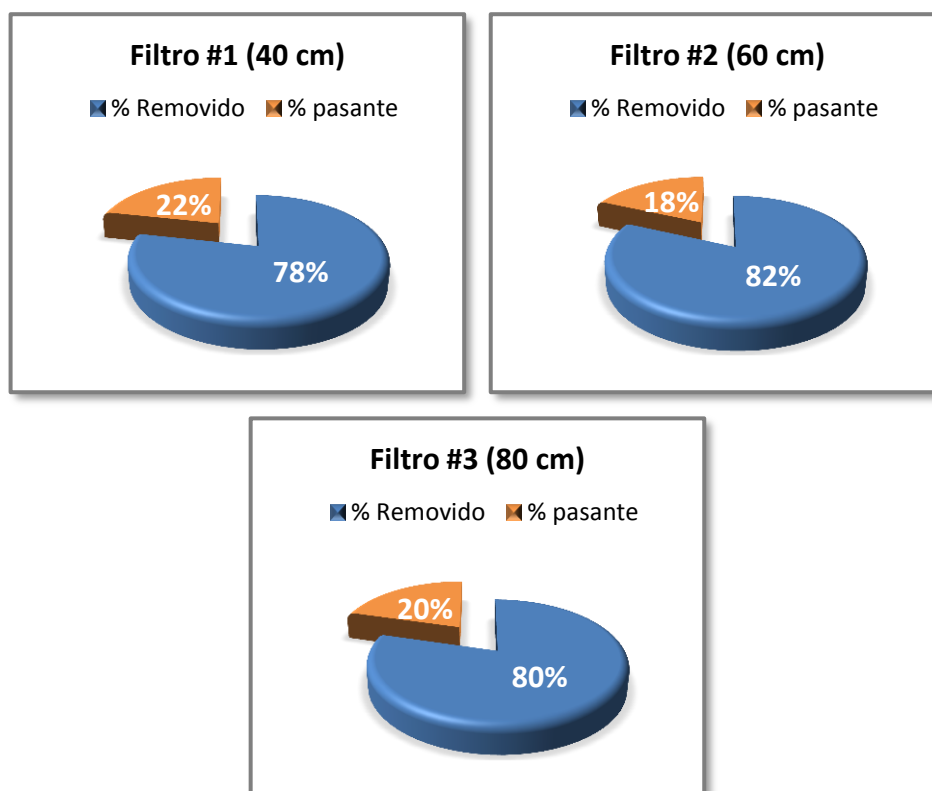


Figura 66: Comparación de los porcentajes removidos.

Tabla XXXV: Resultados de los análisis de manganeso realizado en el filtro más eficiente.

Concentración inicial (mg/l)	Filtro #2 (mg/l)	% Removido
1ra Corrida	0,620	81,77
2da Corrida	1,100	84,18
3ra Corrida	1,030	82,72

En la Tabla XXXV se encuentra las concentraciones iniciales previo a las corridas, concentraciones finales y los porcentajes removidos por cada corrida. Luego de conocer que filtro fue el más eficiente se realizó los muestreos restantes con los cuales se determinó un porcentaje de remoción promedio del filtro, el cual fue de 82.89 %. Gráficamente dichos resultados se muestran a continuación:

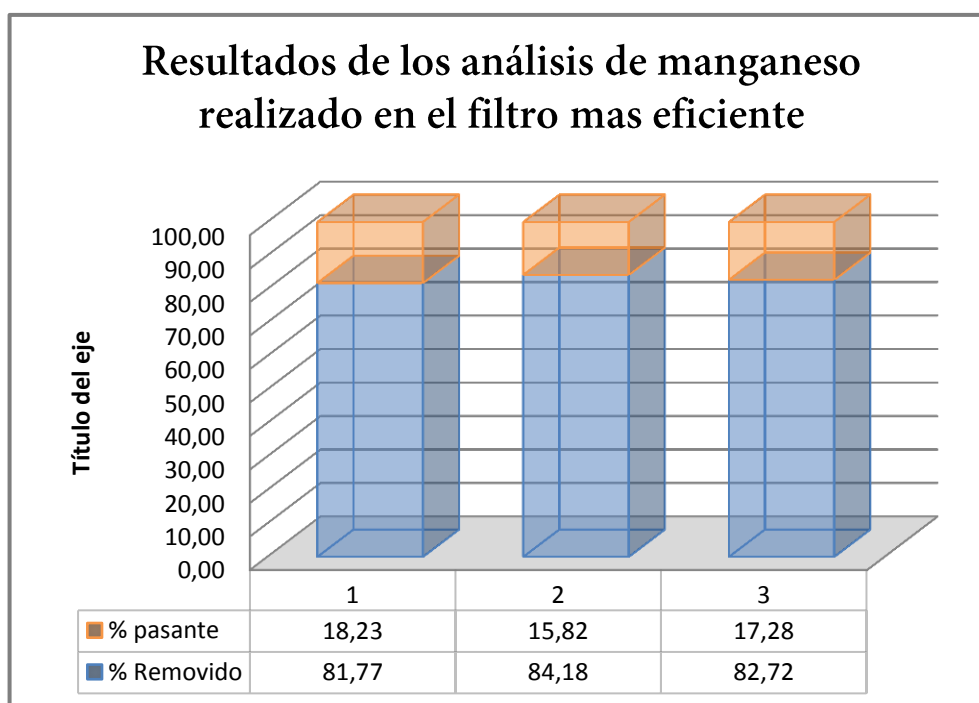


Figura 67: Porcentajes correspondientes a las corridas realizadas en el filtro #2.

En la Figura 67 se muestran los resultados obtenidos correspondientes a cada corrida, donde 1, 2 y 3 representan el orden de las corridas expuestas en la tabla anterior. En la segunda corrida se observa un ligero aumento en la remoción, es decir que en comparación a otros filtros, donde la eficiencia decrece conforme se realizan las corridas, estos filtros de zeolita no presentan dicho comportamiento y se debe al lavado del material con agua destilada previo a cada corrida.

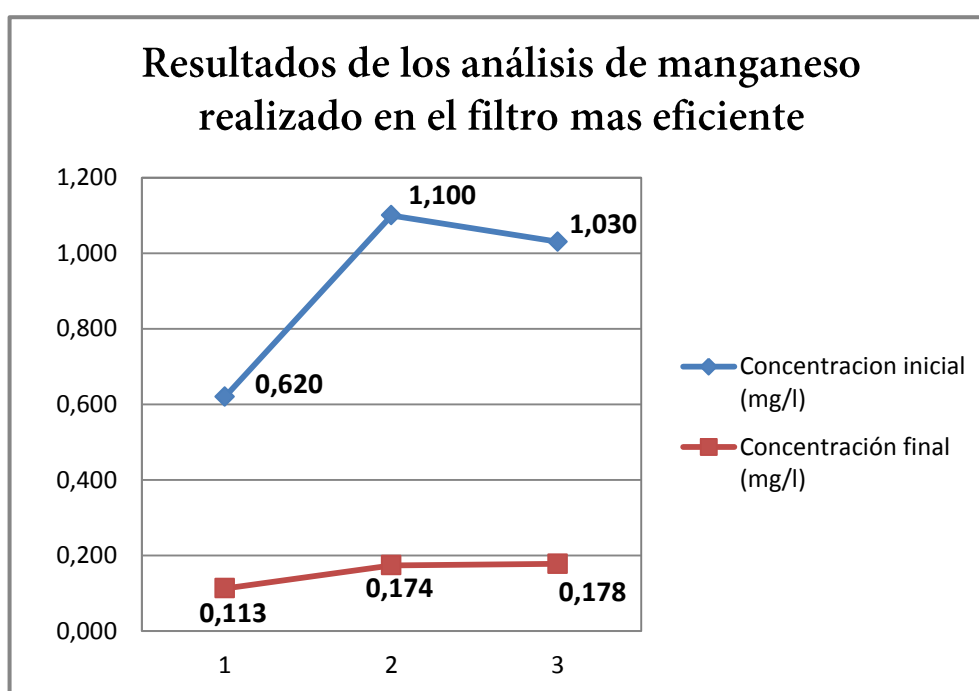


Figura 68: Comparación de concentraciones iniciales y finales.

En la Figura 68 se muestran las concentraciones iniciales y finales, donde el 1, 2 y 3 representan el orden de las corridas realizadas durante la investigación. En la gráfica se observa que la primera concentración es mucho menor que las posteriores, y esto se debe a que el análisis de

este parámetro no se lo realizó inmediatamente. Una explicación de esto podría ser, que el agua fue expuesta al ambiente, consecuentemente el oxígeno ayuda a que el manganeso se oxide de manera que la concentración de este contaminante se reduce y más aún si el pH de esta agua se mantiene entre 7,5 y 9,5.

4.4. Aproximación numérica del modelo conceptual de la columna de adsorción.

Para la solución de la ecuación diferencial [Ec.11] propuesta anteriormente en el apartado 2.34, se utilizó el método de diferencias finitas (MDF). La ecuación denota que la concentración del fluido cuando este fluye a través de la columna de adsorción varía con el tiempo y la posición en el espacio (longitud del lecho filtrante), es decir $C(t, x)$. A esta ecuación la podemos cambiar a un modelo matemático más explícito usando una diferenciación hacia adelante en el tiempo. El primer paso es dividir en partes la solución en el espacio-tiempo en donde se quiere obtener la concentración para un determinado tiempo de retención y una distancia entre 0 y la longitud de cada filtro. Para estos casos la región es $0 \leq x \leq L$ y $0 \leq t \leq T$. El tiempo ha sido acotado debido a que la solución está dada para un tiempo finito. Los medios que definen la malla de puntos en la región espacio-tiempo se muestran a continuación:

$$x_j = j\Delta x, \quad t_n = n\Delta t, \quad j = 0, 1, 2, \dots, J; \quad n = 0, 1, 2, \dots, N.$$

Donde los números Δx y Δt son los pasos en el espacio y tiempo, respectivamente. Tenemos que $\Delta x = L/J$ y $\Delta t = T/N$. El entero J es el número de subintervalos en $0 \leq x \leq L$ y N es el número de intervalos en el tiempo a ser tomado. La Figura 69 muestra la malla de puntos, también conocida como grilla de puntos o nodos. En cada punto (x_j, t_n) de la malla se busca una aproximación y podemos denotarlos como C_j^n , el cual representa el valor exacto de $c(x_j, t_n)$ de la solución. Note que el superíndice representa al tiempo y la posición en el espacio.

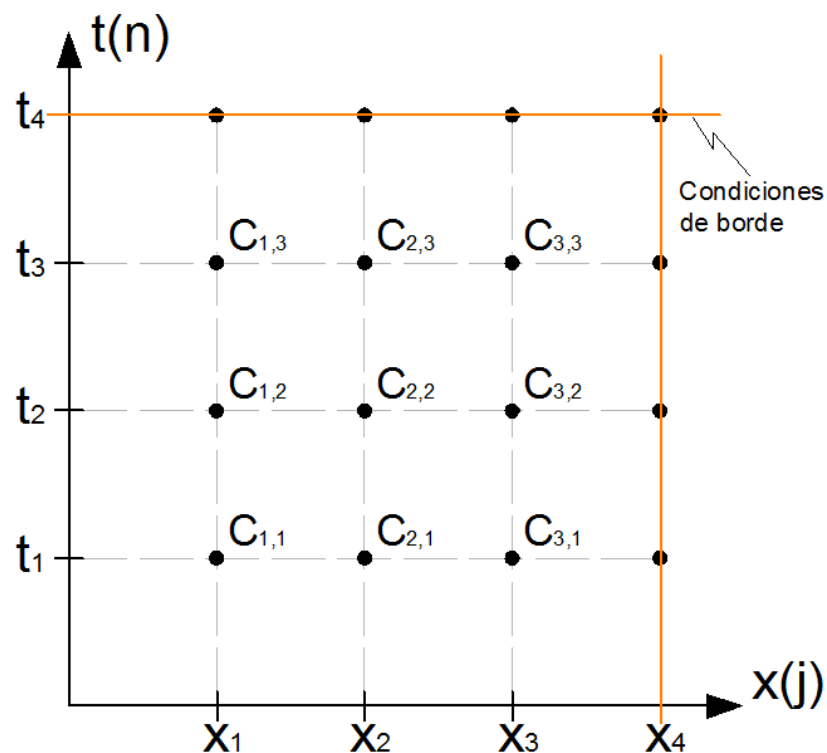


Figura 69: Aplicación del Método de discretización (Método de diferencias finitas).

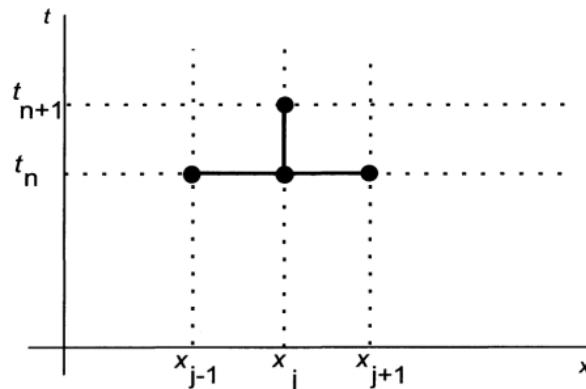


Figura 70: El enmallado discreto y el punto para el cálculo computacional para la ecuación [Ec. 11]. (Logan, 2013).

Podemos observar que se puede considerar C_j^n como un vector en dos dimensiones o una matriz, donde n es el índice de fila, j es el índice de columna. Para obtener las ecuaciones para la C_j^n debemos reemplazar las derivadas parciales de la [Ec.11] por las aproximaciones diferenciales respectivas. La derivada con respecto al tiempo es aproximada con la diferencia hacia adelante, comúnmente conocida como la ecuación progresiva:

$$C_t(x_j, t_n) \approx \frac{C(x_j, t_{n+1}) - C(x_j, t_n)}{\Delta t} \quad [\text{Ec.13}]$$

Y la primera derivada parcial con respecto a la posición en el espacio es aproximada por la diferencia hacia atrás, conocida como la ecuación regresiva:

$$C_x(x_j, t_n) \approx \frac{C(x_j, t_n) - C(x_{j-1}, t_n)}{\Delta x} \quad [\text{Ec.14}]$$

Estas aproximaciones son las que usualmente se usan, con el objetivo de construir un sistema lineal de ecuaciones. Se debe tomar en cuenta de escoger la ecuación que mejor converja a una solución. Siguiendo con la deducción de la fórmula, las ecuaciones [Ec.13] y [Ec.14] se reemplazan en la [Ec.11], de manera que se tiene lo siguiente:

$$\frac{C_j^{n+1} - C_j^n}{\Delta t} + A \frac{C_j^n - C_{j-1}^n}{\Delta x} = 0 \quad \text{donde } A = \frac{u_x}{\left[\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \rho k_1 + 1 \right]}$$

Resolviendo y despejando C_j^{n+1} obtenemos una fórmula de recurrencia la cual nos permitirá encontrar valores de concentraciones en las posiciones j en tiempos $n + 1$.

$$C_j^{n+1} = C_j^n - A \frac{\Delta t}{\Delta x} (C_j^n - C_{j-1}^n) \quad [\text{Ec.15}]$$

Para encontrar las soluciones de la fórmula de recurrencia, se puede usar el software de lenguaje matemático MATLAB versión 7.6.0324 (R2008a), en el cual se plantea un algoritmo para la simulación de la columna de adsorción para la condición inicial y condiciones de borde planteadas (véase 2.34). Para el funcionamiento del algoritmo planteado en el lenguaje matemático MATLAB y para la simulación correcta de la columna de adsorción es necesario obtener ciertos parámetros físicos y geométricos, los cuales están presentes en la [Ec.11]. Aquellos parámetros son los siguientes: Diámetro del lecho (d), Longitud del lecho

(L), Velocidad de agua (u_x), Concentración inicial (C_o), Densidad de la partícula (ρ_p), Densidad aparente (ρ_a) y la Constante de adsorción (K_1). A continuación se muestra el resultado de la aplicación del lenguaje matemático MATLAB, adoptando los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla XXXVI: Datos geométricos y físicos empleados para determinar el comportamiento del filtro.	
Velocidad	0.1 dm/s
Densidad	10 g/dm ³
Porosidad	0.2
Constante de Adsorción	3 L gas/ g carbón
Longitud Lecho	5 dm
Deltat	0.3 seg
Tmax	900 seg
Concentración Inicial	0.1 g/L de gas
(Simulacionblog, 2015)	

Una descripción del comportamiento de la Figura 71 es la siguiente:

En el instante inicial $t=0$, el adsorbente se encuentra libre de adsorbato. Conforme el tiempo avanza el adsorbato comienza a difundirse hacia el interior de las partículas del lecho con las que el líquido entra en contacto. En este momento la zona de transferencia de masa se comienza a desplazar, es decir que el adsorbente comienza a saturarse a la entrada por lo que la zona de transferencia de masa aumenta

mientras el adsorbato va saturando las partículas hasta que prácticamente satura el filtro en toda su longitud (Sanz De Juan, 2012).

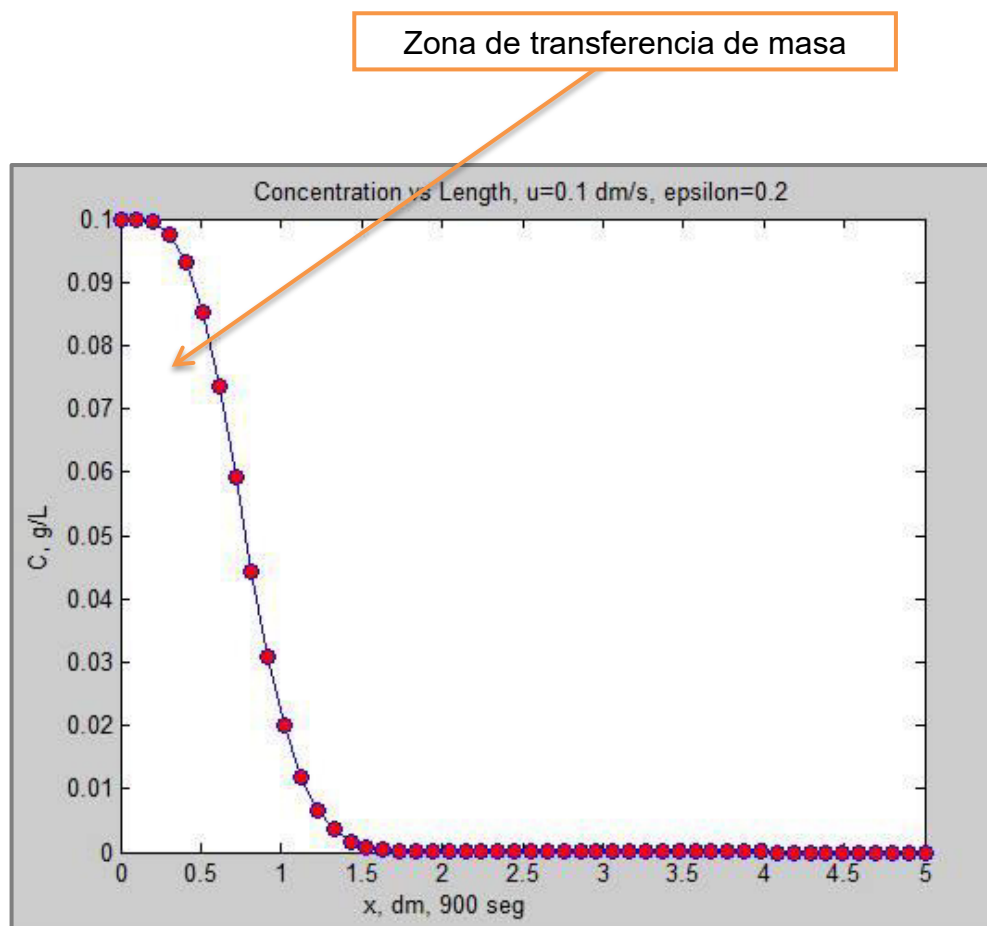


Figura 71: Representación gráfica del desarrollo de una curva de ruptura mostrando el movimiento de la zona de transferencia de masa.

CAPÍTULO 5.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

1. Los resultados mostrados en las tablas XIX y XX demuestran que las concentraciones del hierro y sólidos totales disueltos en ambos pozos cumplen con la norma NTE INEN 1 108:2011 para el consumo humano, ya que se encuentran por debajo de los límites deseables, dejando en claro que el acuífero no presenta problemas con dichos parámetros.

2. Los resultados demuestran que es posible purificar y mejorar la calidad de las aguas muy duras para el análisis químico mediante el empleo de zeolitas naturales, ya que se tuvieron concentraciones iniciales entre 391 y 398 mg/l CaCO₃; posterior a

las corridas estas concentraciones se redujeron hasta valores entre 208 y 258 mg/l CaCO₃, de forma que cumple con los límites máximos permisibles según las normas más exigentes tomadas para la presente investigación.

3. El filtro #2 ha sido construido de modo que pueda ser empleado en hogares e implementado en sistemas de tratamiento que involucren procesos de filtración, de manera que alcance una remoción promedio del 42,10% correspondiente a sales como calcio y magnesio. De forma que cumple con los límites máximos permisibles según las normas más exigentes tomadas para la presente investigación.

4. Como alternativa para procesos de ablandamiento del agua subterránea, el filtro #2 puede ser empleado por los habitantes en caso de no contar con redes de flujo de agua. Se conoce que existen diversos métodos para la eliminación de las aguas duras tales como intercambiadores iónicos, pero en comparación con la aplicación de filtros de zeolita, estos pueden reducir concentraciones hasta el punto de cumplir con las normativas

vigentes del país, de manera que se tenga aguas más confiables al momento de su uso.

5. Se demostró que los filtros a base de zeolita son eficientes al momento de remover manganeso con un porcentaje promedio del 82.89 %. Por esta razón se podría pensar que este material estaría en la capacidad de remover otros minerales como el amoníaco.

6. Entre las principales ventajas que tiene un tratamiento de agua con filtros de zeolita son de fácil operación y uso, fácil armado y efectivo para remover dureza y manganeso.

5.2. Recomendaciones.

1. Es recomendable no beber agua de pozo con altas concentraciones de minerales, en especial si estas presentan concentraciones cuyos valores están cercanos a los límites máximos permisibles, ya que a largo plazo podrían ser perjudiciales para la salud.
2. Como es de conocimiento público existen viviendas que no dependen del abastecimiento del agua de los pozos en estudio ya que no cuentan con redes de agua potable. Estas viviendas dependen de sí mismas y optan por abastecerse de pozos independientes que ellos mismo realizan ya sea por esfuerzo propio o por otros medios. Para estas personas es recomendable implementar filtros o tratamientos accesibles económicamente, que de alguna manera reduzcan las concentraciones de dureza y manganeso presentes en el agua.
3. Determinar la eficiencia del filtro en remover plaguicidas como organoclorados y organofosforados, de manera que sus resultados siempre se mantengan por debajo de las limitaciones. Es importante tener en cuenta que las bajas concentraciones en muchas ocasiones no son perceptibles para los equipos de medición, ya que la precisión

de los mismos son mayores a valores de 0.01 mg/l, es decir que al tener un valor mucho menor, su concentración no sería determinado con precisión.

4. Para un posterior estudio o investigación se podría realizar muestreos que impliquen el efecto de las variaciones climáticas. Para esto se debería incluir toma de muestras en épocas invernales y en verano de manera que puedan ser comparadas y determinar si el clima afecta en los resultados de filtración.
5. Para el proceso de vertido del agua en la parte superior es recomendable que se vierta de forma constante evitando caminos preferenciales para el flujo del agua ya que la saturación del material por toda la columna se verá afectada al no saturarse de igual manera conforme el agua desciende.
6. Para las mediciones de los caudales de salida es importante tener en cuenta que no debe haber filtraciones, ya que se tendrían datos erróneos y consecuentemente una mala interpretación de los mismos.

7. Sería recomendable realizar corridas con agua que contenga otro tipo de minerales tales como hierro y amoniaco.

8. Se recomienda el apisonado del material zeolítico ya que al verter el agua, las partículas de zeolita se reacomodan provocando en si el asentamiento del todo el materia en condiciones húmedas.

9. Se deberá realizar una caracterización geológica y mineralógica del Sector Isidro Ayora e investigar patologías registradas en el Sector Isidro Ayora por algún tipo de enfermedad asociado por la inhalación de polvo (por lo general afectación pulmonar).

10. Determinar y medir la presencia de concentraciones de Erionita presente en el aire.

ANEXOS

**ANEXO I – RESULTADOS DE LABORATORIO DE
QUÍMICOS MARCOS.**



COTIZACION
No. 15382

CLIENTE:	AGUDO VINCES DOUGLAS MARCELO		
DIRECCIÓN:	Durán-Abelgilbert Mz B41 Villa 13		
RUC :	0928444116		
ATENCIÓN:	Sr. Douglas Agudo	FECHA EMISIÓN:	13/01/2015
TELEFONO:	0992331870	FECHA SOLICITUD:	13/01/2015
E-MAIL:	doglasvin@hotmail.com	FECHA VALIDEZ:	28/01/2015

Por medio de la presente, sirva recibir nuestra cotización, esperando sea de su utilidad

Tipo de muestra: Agua de Pozo
Lugar de monitoreo: Tres Postes-Canton Jujan
Numero de muestra: 1

Parámetro	Unidades	Metodo	Rango Acreditado	Límite de Detección	Cant.	Precio Unitario	Total
Dureza total	mgCO3Ca/l	PEE-GQM-FQ-26	10.0 - 5000.0	1.0	1	6.00	6.00
Solidos Disueltos Totales	mg/l	PEE-GQM-FQ-23	5 - 220000	0.85	1	15.00	15.00
Pesticidas-Organoclorados (1)	mg/l	6630 B		0.01000	1	80.00	80.00
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDD (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDE (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDT (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Aldrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Alfa Endosulfan (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Alfa HCH (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Beta - Endosulfan (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Beta BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.05000			
Pesticidas Organoclorados:Dieldrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endosulfan Sulfato (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endrin Aldehido (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Gamma HCH (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro exo epoxido (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Metoxicloro (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas organoclorados: Alpha Chlordano (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Delta BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endosulfan I (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endosulfan II (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endrin Ketone (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: G-BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01000			
Pesticidas organoclorados: Alpha BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Heptachlor Epoxide	mg/l	EPA 525.2		0.01			



COTIZACION
No. 15382

CLIENTE:	AGUDO VINCES DOUGLAS MARCELO	FECHA EMISIÓN:	
DIRECCIÓN:	Durán-Abelgilbert Mz B41 Villa 13	FECHA SOLICITUD:	13/01/2015
RUC:	0928444116	FECHA VALIDEZ:	28/01/2015
ATENCIÓN:	Sr. Douglas Agudo		
TELEFONO:	0992331870		
E-MAIL:	dogliásvin@hotmail.com		

(1)							
Pesticidas organoclorados:4,4 metoxicloro (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas-Organofosforados (1)	mg/l	6640 B		0.01000	1	80.00	80.00
Pesticidas Organofosforados:Carbaril (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Carbofuran (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Clorpirifos (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Malation (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Metil Paration (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
VALOR BRUTO:							181.00

Adicional

Parámetro	Unidades	Metodo	Rango Acreditado	Límite de Detección	Cant.	Precio Unitario	Total
Potencial de Hidrogeno	-	PEE-GQM-FQ-01	4.00 - 10.00		1	5.00	5.00
VALOR BRUTO:							5.00

Parámetro	Unidades	Metodo	Rango Acreditado	Límite de Detección	Cant.	Precio Unitario	Total
Servicio de muestreo (1)	-				1	70.00	70.00
VALOR BRUTO:							70.00

1.Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17015 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano

2.Parámetros subcontratados no acreditados

4.Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, ver alcance en www.oae.gob.ec

VALOR BRUTO:	256.00
DESCUENTO:	74.40
SUBTOTAL:	181.60
12% IVA:	21.79
TOTAL, en usd:	203.39

OBSERVACIONES :

*El costo de servicio de muestreo es de \$70 + IVA por día.


*Descuento aplicado del 40% por ser tema de tesis, no aplica para servicio de muestreo ni parámetros subcontratados. (Necesitamos nos ayude con un certificado de la universidad que usted está elaborando esta tesis para que pueda gozar de este descuento)

TOMA, MANEJO Y ENVIO DE MUESTRAS.-

El muestreo lo efectuará GQM conforme a los procedimientos:

PG/GQM/09. Agua: Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras

PG/GQM/15. Suelo: Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras

	COTIZACION No. 15382	
---	--------------------------------	--

CLIENTE: DIRECCIÓN: RUC : ATENCIÓN: TELEFONO: E-MAIL:	AGUDO VINCES DOUGLAS MARCELO Durán-Abelgilbert Mz B41 Villa 13 0928444116 Sr. Douglas Agudo 0992331870 doglasvin@hotmail.com	FECHA EMISIÓN: FECHA SOLICITUD: 13/01/2015 FECHA VALIDEZ: 28/01/2015
--	---	---

PG/QQM/16 BIOLÓGICO (FITOPLANCTON, ZOOPLANCTON Y BENTOS): Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras

Si el cliente toma las muestras, se compromete a enviarlas conforme a los procedimientos mencionados. El envío de muestras por parte del cliente libera de responsabilidad a GQM sobre esta actividad.

TIEMPO DE ENTREGA.-

Los resultados serán entregados en 8 días laborables, después de haber realizado el muestreo o recibida la muestra. Para urgencias favor contactarse con el laboratorio. En todo caso el tiempo de entrega final acordado debe quedar evidenciado en su orden de trabajo, contrato o en nuestro ingreso de muestras que será enviado vía mail. Para análisis subcontratados el plazo es de 15 días.

Pago Anticipado

El cliente deberá cancelar el 100% del monto de la presente proforma. Los análisis se iniciará una vez que estos hayan sido cancelados.

BANCO	TIPO DE CUENTA	NUMERO DE CUENTA
PICHINCHA	CORRIENTE	3121235804
PACIFICO	AHORROS	1010723633
PROAMERICA	CORRIENTE	1032230012
MACHALA	CORRIENTE	1070773151

Datos del Proveedor

RAZÓN SOCIAL: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA GRUQUIMAR
RUC: 0991315314001
DIRECCION: PARQUE CALIFORNIA 2 LOCAL D-41 KM 11,5 VÍA A DAULE
TELEFONO: 042-103390

FACTURACION.-

La factura será emitida una vez ingresadas las muestras al laboratorio.

COMPROBANTES DE RETENCION.-

Art. 50 LORTI.- Los agentes de retención están obligados a entregar el respectivo comprobante de retención, dentro del término no mayor de 5 días de recibido el comprobante de venta. GQM solicita hacer llegar la retención vía Fax al siguiente número: 042-103390(2) - 042-103825(35) a la ext. 104 o vía mail a la dirección: creditoscobranzas@grupoquimicomarcos.com

CONFIDENCIALIDAD.-

G.Q.M. garantiza absoluta confidencialidad de los datos obtenidos durante la ejecución de los ensayos y de los reportes que tiene en custodia.

CANCELACION DE MUESTREO.-

En caso de cancelar su orden de muestreo por razones ajenas a GQM y el personal ya está en el punto y-o ejecutando el trabajo, el cliente se compromete a cancelar el valor por el servicio de muestreo pactado en esta cotización.



COTIZACION
No. 15382

CLIENTE:	AGUDO VINCES DOUGLAS MARCELO	
DIRECCIÓN:	Durán-Abelgilbert Mz B41 Villa 13	
RUC:	0928444116	
ATENCIÓN:	Sr. Douglas Agudo	FECHA EMISIÓN:
TELÉFONO:	0992331870	FECHA SOLICITUD: 13/01/2015
E-MAIL:	dóglásvin@hotmail.com	FECHA VALIDEZ: 28/01/2015

CANCELACION DE TRABAJOS EN EJECUCION.-

Se pueden dar cancelaciones de trabajos por parte del cliente ya sea después de tomada la muestra o después de revisión de resultados en línea, en ambos casos se facturará y se emitirá informe solo de los parámetros trabajados.

E-SERVICIOS: CONSULTAS DE RESULTADOS EN LINEA.-

Para consultar sus resultados provisionales en línea, tan pronto estos se autoricen en el laboratorio, GQM entregará con autorización del representante legal de su compañía (en caso de persona jurídica) el usuario y clave asignado a su empresa mediante su solicitud al correo: marketing@grupoquimicomarcos.com

Puede acceder a sus resultados a través de: www.grupoquimicomarcos.com

Atentamente,

Laura Yanqui
Coordinadora de Calidad



COTIZACION
No. 15518

CLIENTE:	BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO		
DIRECCIÓN:	Recinto tres Postes Cdla. San Pedro		
RUC :	1202847123		
ATENCIÓN:	Sr. Angel Burgos	FECHA EMISIÓN:	21/01/2015
TELEFONO:	2525240	FECHA SOLICITUD:	21/01/2015
E-MAIL:	erick_burm@hotmail.com	FECHA VALIDEZ:	05/02/2015

Por medio de la presente, sirva recibir nuestra cotización, esperando sea de su utilidad

Tipo de muestra: Agua de Pozo
Lugar de monitoreo: Tres Postes-Canton Jujan
Numero de muestra: 2

Parámetro	Unidades	Metodo	Rango Acreditado	Límite de Detección	Cant.	Precio Unitario	Total
Hierro	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	0.0750 - 5.0000	0.0047	2	15.00	30.00
Manganeso	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	0.0400 - 1.0000	0.0003	2	15.00	30.00
Pesticidas Organoclorados:Alfa HCH (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDD (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endrin Aldehido (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDT (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Alfa Endosulfan (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Endosulfan Sulfato (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Beta - Endosulfan (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Metoxicloro (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Beta BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.05000			
Pesticidas Organoclorados:Gamma HCH (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Aldrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro exo epoxido (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDE (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organoclorados:Dieldrin (1)	mg/l	6630 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Carbaril (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Carbofuran (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Metil Paration (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Malation (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas Organofosforados:Clorpirifos (1)	mg/l	6640 B		0.01000			
Pesticidas organoclorados: Alpha BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Delta BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			



COTIZACION
No. 15518

CLIENTE:	BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO		
DIRECCIÓN:	Recinto tres Postes Cda. San Pedro		
RUC :	1202847123		
ATENCIÓN:	Sr. Angel Burgos	FECHA EMISIÓN:	
TELEFONO:	2525240	FECHA SOLICITUD:	21/01/2015
E-MAIL:	erick_burm@hotmail.com	FECHA VALIDEZ:	05/02/2015

Pesticidas organoclorados: Alpha Chlordano (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endosulfan I (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endosulfan II (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Endrin Ketone (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: Heptachlor Epoxide (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas organoclorados: G-BHC (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01000			
Dureza total	mgCO3Ca/l	PEE-GQM-FQ-26	10.0 - 5000.0	1.0	2	6.00	12.00
Solidos Disueltos Totales	mg/l	PEE-GQM-FQ-23	5 - 220000	0.85	2	15.00	30.00
Pesticidas organoclorados:4,4 metoxicloro (1)	mg/l	EPA 525.2		0.01			
Pesticidas-Organoclorados (1)	mg/l	6630 B		0.01000	2	80.00	160.00
Pesticidas-Organofosforados (1)	mg/l	6640 B		0.01000	2	80.00	160.00
VALOR BRUTO:							422.00

Parámetro	Unidades	Metodo	Rango Acreditado	Límite de Detección	Cant.	Precio Unitario	Total
Servicio de muestreo (1)	-				1	70.00	70.00
VALOR BRUTO:							70.00

1. Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17015 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
2. Parámetros subcontratados no acreditados
4. Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, ver alcance en www.oae.gob.ec

VALOR BRUTO:	492.00
DESCUENTO:	168.80
SUBTOTAL:	323.20
12% IVA:	38.78
TOTAL, en usd:	361.98

OBSERVACIONES :

*El costo de servicio de muestreo es de \$70 + IVA por día.
 *Descuento aplicado del 40% por ser tema de tesis, no aplica para servicio de muestreo ni parámetros subcontratados. (Necesitamos nos ayude con un certificado de la universidad que usted está elaborando esta tesis para que pueda gozar de este descuento)

TOMA, MANEJO Y ENVIO DE MUESTRAS.-

El muestreo lo efectuará GQM conforme a los procedimientos:

- PG/GQM/09. Agua: Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras
- PG/GQM/15. Suelo: Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras
- PG/GQM/16 BIOLÓGICO (FITOPLANCTON, ZOOPLANCTON Y BENTOS): Toma, manejo, manipulación y gestión de muestras

Si el cliente toma las muestras, se compromete a enviarlas conforme a los procedimientos mencionados. El envío de muestras por parte del cliente libera de responsabilidad a GQM sobre esta actividad.



COTIZACION
No. 15518

CLIENTE:	BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO	
DIRECCIÓN:	Recinto tres Postes Cda. San Pedro	
RUC :	1202847123	
ATENCIÓN:	Sr. Angel Burgos	FECHA EMISIÓN:
TELEFONO:	2525240	FECHA SOLICITUD: 21/01/2015
E-MAIL:	erick_burm@hotmail.com	FECHA VALIDEZ: 05/02/2015

TIEMPO DE ENTREGA.-

Los resultados serán entregados en 8 días laborables, después de haber realizado el muestreo o recibida la muestra. Para urgencias favor contactarse con el laboratorio. En todo caso el tiempo de entrega final acordado debe quedar evidenciado en su orden de trabajo, contrato o en nuestro ingreso de muestras que será enviado vía mail. Para análisis subcontratados el plazo es de 15 días.

Pago Anticipado

El cliente deberá cancelar el 100% del monto de la presente proforma. Los análisis se iniciará una vez que estos hayan sido cancelados.

BANCO	TIPO DE CUENTA	NUMERO DE CUENTA
PICHINCHA	CORRIENTE	3121235804
PACIFICO	AHORROS	1010723633
PROAMERICA	CORRIENTE	1032230012
MACHALA	CORRIENTE	1070773151

Datos del Proveedor

RAZON SOCIAL: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA GRUQUIMAR
RUC: 0991315314001
DIRECCION: PARQUE CALIFORNIA 2 LOCAL D-41 KM 11,5 VÍA A DAULE
TELEFONO: 042-103390

FACTURACION.-

La factura será emitida una vez ingresadas las muestras al laboratorio.

COMPROBANTES DE RETENCION.-

Art. 50 LORTI.- Los agentes de retención están obligados a entregar el respectivo comprobante de retención, dentro del término no mayor de 5 días de recibido el comprobante de venta. GQM solicita hacer llegar la retención vía Fax al siguiente número: 042-103390(2) - 042-103825(35) a la ext. 104 o vía mail a la dirección: creditosyobranzas@grupoquimicomarcos.com

CONFIDENCIALIDAD.-

G.Q.M. garantiza absoluta confidencialidad de los datos obtenidos durante la ejecución de los ensayos y de los reportes que tiene en custodia.

CANCELACION DE MUESTREO.-

En caso de cancelar su orden de muestreo por razones ajenas a GQM y el personal ya está en el punto y-o ejecutando el trabajo, el cliente se compromete a cancelar el valor por el servicio de muestreo pactado en esta cotización.

CANCELACION DE TRABAJOS EN EJECUCION.-

Se pueden dar cancelaciones de trabajos por parte del cliente ya sea después de tomada la muestra o después de revisión de resultados en línea, en ambos casos se facturará y se emitirá informe solo de los parámetros trabajados.

E-SERVICIOS: CONSULTAS DE RESULTADOS EN LINEA.-

Para consultar sus resultados provisionales en línea, tan pronto estos se autoricen en el laboratorio, GQM entregará con autorización del representante legal de su compañía (en caso de persona jurídica) el usuario y clave asignado a su empresa mediante su solicitud al correo: marketing@grupoquimicomarcos.com



COTIZACION
No. 15518

CLIENTE:	BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO	FECHA EMISIÓN:	
DIRECCIÓN:	Recinto tres Postes Cdla. San Pedro	FECHA SOLICITUD:	21/01/2015
RUC :	1202847123	FECHA VALIDEZ:	05/02/2015
ATENCIÓN:	Sr. Angel Burgos		
TELEFONO:	2525240		
E-MAIL:	erick_burm@hotmail.com		

Puede acceder a sus resultados a través de: www.grupoquimicomarcos.com

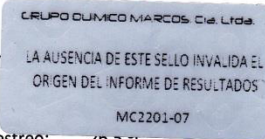
Atentamente,

Laura Yanqui
Coordinadora de Calidad

BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO

 Representante Legal: BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO
 Recinto tres Postes Cda. San Pedro
 Jujan, Tel. 2525240
 Atención: Sr. Angel Burgos
 Tipo de Industria

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

 Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:50 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
 Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:31
 Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 1
 Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
 Matriz de la muestra: AGUA POZO
 Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
 Muestreador: JG
 Tipo de Muestreo: Simple
 Coordenadas Geográficas: 17M0655180 - 9780496 Temperatura de muestreo: 26,5 °C


Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:					
Dureza total	97,6	12,7	mgCO3Ca/l	PEE-GQM-FQ-26	30/01/15 KV
Solidos Disueltos Totales	208	9,15	mg/l	PEE-GQM-FQ-23	27/01/15 CT
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
METALES:					
Hierro (3)	0,0502	0,0141	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	04/02/15 ER
Manganeso	0,2448	0,0416	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	04/02/15 ER
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Pesticidas organoclorados: G-BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
COMPONENTES ORGANICOS:					
Pesticidas Organoclorados:Alfa HCH (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Endrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDD (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT

-----	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

 Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
 Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 1 de 3



INFORME DE ENSAYOS
No. 45356-1

LABORATORIO DE ENSAYOS
ACREDITADO POR EL OAE
CON ACREDITACION
OAE LE 2C 05-001

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:50 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:31
Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 1
Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra: AGUA POZO
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: 17M0655180 - 9780496 Temperatura de muestreo: 26,5 °C

Pesticidas Organoclorados:Endrin Aldehido (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDT (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Alfa Endosulfan (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Endosulfan Sulfato (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Beta - Endosulfan (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Metoxicloro (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Beta BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Ganma HCH (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Aldrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro exo epoxido (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDE (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Dieldrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Carbaril (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Carbofuran (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Metil Paration (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 2 de 3

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:50 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
 Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:31
 Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 1
 Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
 Matriz de la muestra: AGUA POZO
 Muestreador por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
 Muestreador: JG
 Tipo de Muestreo: Simple
 Coordenadas Geográficas: 17M0655180 - 9780496 Temperatura de muestreo: 26,5 °C

GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA.

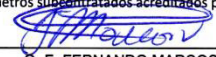
 LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
 ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-07


Pesticidas Organofosforados: Malation (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados: Clorpirifos (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Alpha BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Delta BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Alpha Chlordano (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endosulfan I (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endosulfan II (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endrin Ketone (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Heptachlor Epoxide (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: 4,4 metoxicloro (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
 Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 3 de 3

BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO

Representante Legal: BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO
Recinto tres Postes Cdla. San Pedro
Jujan , Tel. 2525240
Atención: Sr. Angel Burgos
Tipo de Industria

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015


Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:50 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:31
Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 1
Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra: AGUA POZO
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: 17M0655180 - 9780496
Temperatura de muestreo: 26,5 °C

GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
MC2201-07

MEMORIA FOTOGRAFICA




Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO

 Representante Legal: BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO
 Recinto tres Postes Cda. San Pedro
 Jujan , Tel. 2525240
 Atención: Sr. Angel Burgos
 Tipo de Industria

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo:	27/01/15 10:35 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/15 17:32
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua de pozo 2 (Vargas Torres)
Norma Técnica de muestreo:	PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra:	AGUA POZO
Muestreado por:	GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador:	JG
Tipo de Muestreo:	Simple
Coordenadas Geográficas:	17M0655385 - 9780168 Temperatura de muestreo: 28,1 °C

GRUPO QUIMICO MARCOS Cda. Ltda.
 LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
 ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
 MC2201-07

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS:					
Dureza total	409,2	53,2	mgCO3Ca/l	PEE-GQM-FQ-26	30/01/15 KV
Solidos Disueltos Totales	476	20,94	mg/l	PEE-GQM-FQ-23	27/01/15 CT
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
METALES:					
Hierro (3)	0,0194	0,0054	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	04/02/15 ER
Manganeso (3)	1,0070	0,1712	mg/l	PEE-GQM-FQ-33	04/02/15 ER
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Pesticidas organoclorados: G-BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
COMPONENTES ORGANICOS:					
Pesticidas Organoclorados:Alfa HCH (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Endrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDD (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT

-----	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permissible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
 Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 1 de 3



INFORME DE ENSAYOS
No. 45357-1

LABORATORIO DE ENSAYOS
ACREDITADO POR EL OAE
CON ACREDITACION
OAE LE 2C 05-001

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:35 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:32
Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 2 (Vargas Torres)
Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra: AGUA POZO
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: 17M0655385 - 9780168 Temperatura de muestreo: 28,1 °C

Pesticidas Organoclorados:Endrin Aldehido (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDT (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Alfa Endosulfan (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Endosulfan Sulfato (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Beta - Endosulfan (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Metoxicloro (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Beta BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Ganma HCH (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Aldrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Heptacloro exo epoxido (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:4,4-DDE (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organoclorados:Dieldrin (1)	< 0,01000	---	mg/l	6630 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Carbaril (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Carbofuran (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados:Metil Paration (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT

-----	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 2 de 3

	INFORME DE ENSAYOS No. 45357-1	LABORATORIO DE ENSAYOS ACREDITADO POR EL OAE CON ACREDITACION OAE LE 2C 05-001
---	--	---

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo:	27/01/15 10:35 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción:	27/01/15 17:32
Punto e Identificación de la Muestra:	Agua de pozo 2 (Vargas Torres)
Norma Técnica de muestreo:	PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra:	AGUA POZO
Muestreado por:	GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador:	JG
Tipo de Muestreo:	Simple
Coordenadas Geográficas:	17M0655385 - 9780168 Temperatura de muestreo: 28,1 °C



Pesticidas Organofosforados: Malation (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas Organofosforados: Clorpirifos (1)	< 0,01000	---	mg/l	6640 B	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Alpha BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Delta BHC (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Alpha Chlordano (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endosulfan I (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endosulfan II (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Endrin Ketone (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: Heptachlor Epoxide (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT
Pesticidas organoclorados: 4,4 metoxicloro (1)	< 0,05000	---	mg/l	EPA 525.2	05/02/15 CT

----	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista; ver alcance en www.oae.gob.ec


 Q.F. FERNANDO MARCOS V.
 Director Técnico


 Q.F. LAURA YANQUI M.
 Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
 Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

Pág. 3 de 3

BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO

Representante Legal: BURGOS JURADO ANGEL BRAULIO

Recinto tres Postes Cda. San Pedro

Jujan , Tel. 2525240

Atención: Sr. Angel Burgos

Tipo de Industria

Guayaquil, 9 DE FEBRERO DEL 2015

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 27/01/15 10:35 Recinto Tres Postes - Cantón Jujan
Fecha y Hora de Recepción: 27/01/15 17:32
Punto e Identificación de la Muestra: Agua de pozo 2 (Vargas Torres)
Norma Técnica de muestreo: PG/GQM/09-Agua
Matriz de la muestra: AGUA POZO
Muestreado por: GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA
Muestreador: JG
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: 17M0655385 - 9780168
Temperatura de muestreo: 28,1 °C

GRUPO QUIMICO MARCOS Cía. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-07

MEMORIA FOTOGRAFICA



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUÍ M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653
www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MC2201-07

**ANEXO II – DATOS REGISTRADOS EN
LABORATORIO ICQA (ESPOL).**

Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural (Secretaría del agua) - Parámetros I

Parámetro	Unidades	Límite Deseable	Límite Máximo Permissible
Turbiedad	NTU	5	20
Cloro Residual	mg/l	0,5	0.3 - 1.0
pH	U	7.0 - 8.0	6.5 - 9.5

Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural (Secretaría del agua) - Parámetros III

Parámetro	Unidades	Límite Deseable	Límite Máximo Permissible
Dureza total	mg/l CaCO ₃	120	1,7
Sólidos totales disueltos	mg/l	500	1,5
Hierro	mg/l	0,2	1,3
Manganeso	mg/l	0,05	1,2
Nitratos, NO ⁻³	mg/l	10	0,8
Sulfatos	mg/l	50	0,8
Fluoruros	mg/l	tabla 4.4	tabla 4.4

Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural (Secretaría del agua) - Parámetros IV

Parámetro	Límite Máximo Permissible (ig/l)
Aldrín	0,03
Dieldrín	0,03
Clordano	0,03
DDT	1,00
Endrín	0,20

Heptacloroepóxido	0,10
Lindano	3,00
Metoxicloro	30,00
Toxafeno	5,00
Clorofenoxy 2, 4, D	100,00
2, 4, 5 - TP	10,00
2, 4, 5 - T	2,00
Carbaril	100,00
Diazinón	10,00
Metil Parathión	7,00
Parathión	35,00

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección (TULAS: Libro VI, Anexo 1).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,30
Aluminio total	Al	mg/l	0,100
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,00
Arsénico (total)	As	mg/l	0,050
Bario	Ba	mg/l	1,00
Berilio	Be	mg/l	0,10
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,010
Cobalto	Co	mg/l	0,20
Cobre	Cu	mg/l	1,00

Color	Color real	Unidades de color	20,00
Coliformes totales	mmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250,00
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,050
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,00
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500,00
Estaño	Sn	mg/l	2,00
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1.4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,30
Litio	Li	mg/l	2,50
Manganeso (total)	Mn	mg/l	2,50
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,0010
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrito	mg/l	10,00
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,00
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Potencial de Hidrógeno	pH		6 - 9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,010
Sodio	Na	mg/l	200,00
Sulfatos	SO ⁴⁻	mg/l	250,00
Sólidos disueltos totales		mg/l	500,00
Temperatura	°C		Condición

			Natural +/- 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,50
Turbiedad		UTN	10,00
Uranio Total		mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,10
Zinc	Zn	mg/l	5,00
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C6H6	mg/l	0,010
Benzo-a-pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y Herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de Organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y Carbonatos	Concentración de Organofosforados y carbonatos totales	mg/l	0,10
Toxafeno		µg/l	0,01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,010
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,300

Nota: * Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el índice NMP, pertenecen al grupo coliforme fecal, se aplicará tratamiento convencional al agua a emplearse para el consumo humano y doméstico.

**Tiempos parciales estimados en segundos
para cada filtro**

Volumen (ml)	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
30	16,78	12,83	6,03
50	8,37	10,32	5,73
70	8,37	8,42	5,78
90	9,01	6,51	5,72
110	7,72	7,9	7,17
130	9,2	8,03	6,96
150	8,8	7,41	7,5
170	10,02	7,25	7,04
190	9,2	7,72	7,51
210	10,22	8,01	6,36
230	10,84	7,28	7,42
250	13,82	8,53	7,44

**Resultados de Análisis de manganeso de la
muestra tomada del pozo Vargas Torres.**

Análisis realizado el 17-mar-15		
Muestra inicial	0,620	mg/l
Filtro # 1 (40 cm)	0,134	mg/l
Filtro # 2 (60 cm)	0,113	mg/l
Filtro # 3 (80 cm)	0,127	mg/l
Análisis realizado el 20-mar-15		
Muestra inicial	1,100	mg/l
Filtro # 2 (60 cm)	0,174	mg/l
Análisis realizado el 23-mar-15		
Muestra inicial	1,030	mg/l
Filtro # 2 (60 cm)	0,178	mg/l

Datos para el análisis de dureza de las muestras tomadas en el pozo Vargas Torres

Volumen consumido de (EDTA) Standard solution	Muestra inicial	Filtro #1 (40 cm)	Filtro #2 (60 cm)	Filtro #3 (80 cm)
Muestra tomada el 13/03/2015				
V1 (ml)	23,15	1,4	15,2	27,1
V2 (ml)	43,35	15,2	27,1	40,7
Réplica de la muestra tomada el 13/03/2015				
V1 (ml)	3,1	19,9	5,2	33,05
V2 (ml)	22,6	33,05	15,4	46,3
Muestra tomada el 17/03/2015				
V1 (ml)	12,45	-	32	-
V2 (ml)	32	-	42,4	-
Muestra tomada el 20/03/2015				
V1 (ml)	6,4	-	26,3	-
V2 (ml)	26,3	-	39,2	-

Resultados del análisis granulométrico del material filtrante del Filtro #1

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% pasante acumulado
3"	75	0	0,000	0,000	100,000
1 1/2"	38,1	0	0,000	0,000	100,000
3/4"	19	0	0,000	0,000	100,000
3/8"	9,5	0	0,000	0,000	100,000
No. 4	4,75	0	0,000	0,000	100,000
No. 8	2,36	0,1	0,011	0,011	99,989
No. 16	1,18	410,31	44,381	44,392	55,608

No. 30	0,6	513,67	55,561	99,953	0,047
No. 50	0,3	0,34	0,037	99,990	0,010
No. 100	0,15	0,06	0,006	99,997	0,003
No. 200	0,075	0,01	0,001	99,998	0,002
Fondo		0,02	0,002	100,000	0,000
Total		924,51	100,000		

Resultados del análisis granulométrico del material filtrante del Filtro #2

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% pasante acumulado
3"	75	0	0,000	0,000	100,000
1 1/2"	38,1	0	0,000	0,000	100,000
3/4"	19	0	0,000	0,000	100,000
3/8"	9,5	0	0,000	0,000	100,000
No. 4	4,75	0	0,000	0,000	100,000
No. 8	2,36	0,21	0,015	0,015	99,985
No. 16	1,18	629,8	45,722	45,737	54,263
No. 30	0,6	747,12	54,239	99,975	0,025
No. 50	0,3	0,28	0,020	99,996	0,004
No. 100	0,15	0,04	0,003	99,999	0,001
No. 200	0,075	0,01	0,001	99,999	0,001
Fondo		0,01	0,001	100,000	0,000
Total		1377,47	100,000		

Resultados del análisis granulométrico del material filtrante del Filtro #3

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso parcial (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% pasante acumulado
3"	75	0	0,000	0,000	100,000
1 1/2"	38,1	0	0,000	0,000	100,000
3/4"	19	0	0,000	0,000	100,000
3/8"	9,5	0	0,000	0,000	100,000
No. 4	4,75	0	0,000	0,000	100,000
No. 8	2,36	0,36	0,020	0,020	99,980
No. 16	1,18	786,89	43,613	43,633	56,367
No. 30	0,6	1016,52	56,340	99,973	0,027
No. 50	0,3	0,39	0,022	99,995	0,005
No. 100	0,15	0,05	0,003	99,998	0,002
No. 200	0,075	0,03	0,002	99,999	0,001
Fondo		0,01	0,001	100,000	0,000
Total		1804,25	100,000		

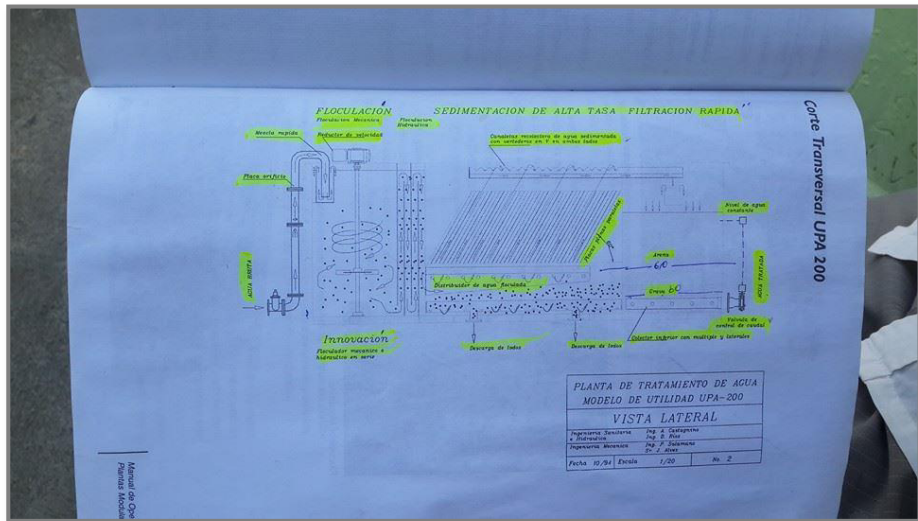
**ANEXO III – Aplicación del lenguaje matemático
MATLAB versión 7.6.0324 (R2008a).**

```

%Clear workspaces
clear
clc
%Define Variables
xmin=0;           %Minimum value of x.
xmax=L;           %Maximum value of x.
dt;               %Timestep.
t=0;              %Initial time.
Tmax;;           %Maximum value of time.
v;                %Velocity water.
epsilon;          %Porosity.
ro;               %Density.
Kad;              %adsorption constant.
J=100;           %No. nodes - 1.
Co;               %Initial concentration.
%Discretise the domain
dx=(xmax-xmin)/(J-1);
x=0:dx:xmax;
%Set initial conditions
c=zeros(1,J);
for j=1:J
    if j==1
        c(j)=Co;
    else
        c(i)=0;
    end
end
end
A=(v/(1+((1-epsilon)/epsilon)*ro*Kad))*(dt/dx);
%Loop through time
u(1)=c(1);
nsteps=tmax/dt;
for n=1:nsteps
    for j=2:N
        u(j)=c(j)-A*(c(j)-c(j-1));
    end
    %Update t and c
    t=t+dt;
    c=u;
    %plot solution
    plot(x,u,'bo-','markerfacecolor','r');
    title('Concentration vs Length');
    ylabel('C, g/L');
    xlabel('x, dm');
end
end

```


ANEXO IV – FOTOS.



Esquema del sistema de tratamiento conformado por etapas de coagulación-floculación, sedimentación, desinfección, filtración ubicado en la cabecera cantonal Jujan.



Vía Panamericana, ingreso al Recinto Tres Postes, a la derecha gasolinera con el mismo nombre.



Sistema de potabilización de agua de la cabecera cantonal (Jujan). Etapa de sedimentación de floculos. Posteriormente el agua clarificada cae sobre el canal rectangular llevándola a la etapa final de filtrado y cloración.



Ingreso del agua cruda proveniente de un pozo de agua subterránea. Inicialmente mezclada con sulfato de aluminio por medio de un agitador mecánico. Posteriormente ingresa a un segundo mezclador hidráulico.



Etapa final del proceso de tratamiento del agua potable. Aquí se realiza la cloración del agua y su filtrado. El agua tratada pasa a ser almacenado para su posterior distribución a los habitantes.



Sistema principal de abastecimiento de agua potable de la cabecera cantonal Jujan.



Pozo de Abastecimiento Público "El Paraíso", inspección de aspectos básicos en la boca del pozo junto al Sr. Elio Palma Viejó (Secretario de la Junta Administradora de Agua Potable).



Reservorio de agua de 250 m³ del Sistema de Distribución de Agua Potable del pozo de Abastecimiento Público El Paraíso.



Bomba de 10 HP que envía el agua al tanque elevado con capacidad de 100 m³, para luego ser enviada a la red de distribución por gravedad.



Toma de muestra en embases plásticos, en el pozo de Abastecimiento Público "El Paraíso".



Previo a la toma de muestra el agua se deja circular por 5 minutos aproximadamente, en el pozo de Abastecimiento Público "El Paraíso".



Toma de muestra en el pozo de Abastecimiento Público "El Paraíso" y el "Sector Vargas Torres". A la izquierda el representante de la empresa Químico Marcos y a la derecha el Sr. Erick Burgos.



Muestras tomadas en ambos pozos, colocados en una hielera previo al traslado para el análisis de contaminantes en el laboratorio.



Muestras tomadas de ambos pozos, previo al análisis de dureza y manganeso en el laboratorio del ICQA.



Armado del medio filtrante, previo a la colocación del material zeolítico.



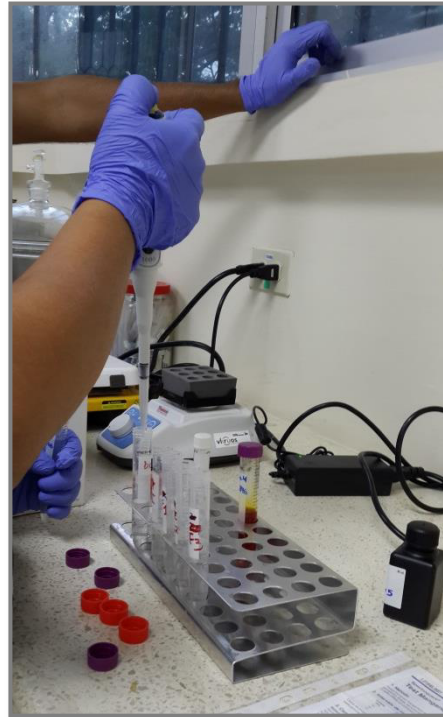
Colocación del material zeolítico, para las posteriores corridas en el laboratorio de suelos ubicado en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT).



Análisis de dureza de las muestras de pozo de Abastecimiento Público “El Paraíso” y el “Sector Vargas Torres”, realizados en el laboratorio del ICQA.



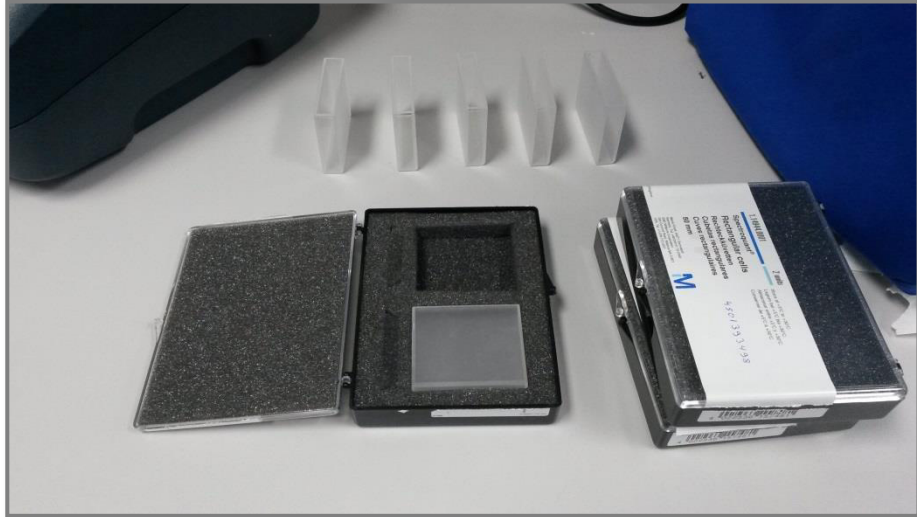
Agitación de las muestras provenientes del pozo “Vargas Torres”, previo al análisis de manganeso en el laboratorio del ICQA.



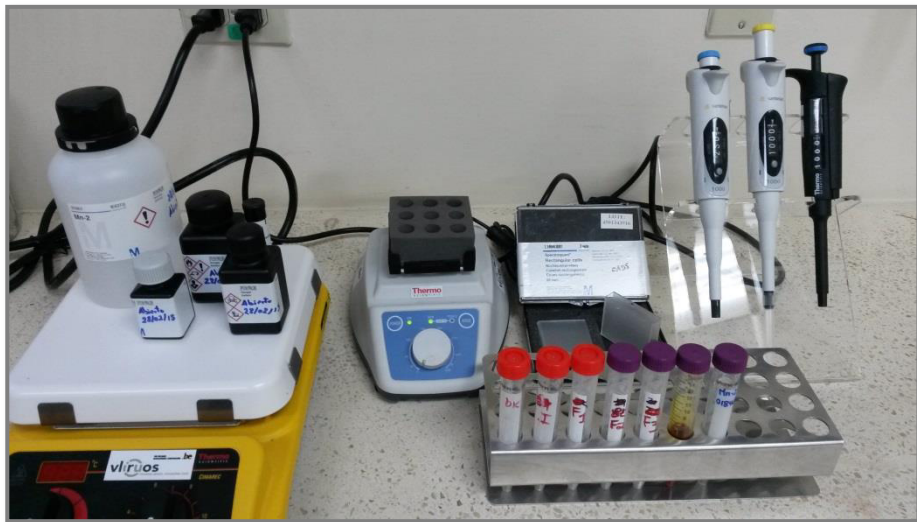
Agitación de las muestras provenientes del pozo de Abastecimiento Público "Vargas Torres", posteriormente se vierten los reactivos restantes para luego finalizar con la lectura de las concentraciones. El análisis fue realizado en el laboratorio del ICQA.



Colocación del Reactivo Mn-3, el cual consiste en añadir tres gotas de cianuro potásico a cada muestra, luego se agita y posteriormente se vierte el reactivo Mn-4. Finalmente se deja reposar la muestra por diez minutos.



Cubetas rectangulares de 50 mm para el vertido de las muestras, posteriormente son colocadas cuidadosamente en el Espectrofotómetro para las mediciones de las concentraciones de manganeso.



Equipos y reactivos implementados para el desarrollo del análisis de manganeso; junto a las muestras de agua provenientes del pozo de Abastecimiento Público "Vargas Torres".



Colocación de las cubetas rectangulares de 50 mm una vez vertido la muestra, posteriormente el Espectrofotómetro determina las concentraciones de manganeso presentes en el agua de pozo.



Medición de la concentración de manganeso presente en el agua de pozo de Abastecimiento Público "Vargas Torres". La medición corresponde a una de las muestras posterior al proceso de filtrado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, R. (2008). Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos/ Environmental sanitation and food hygiene. (G. M. Ferrero, Ed.) Editorial Brujas. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=g7YIShB-SXsC>
2. Agrytec. (14 de Noviembre de 2011). Estado y gestión de los recursos hídricos en el Ecuador. Obtenido de http://agrytec.com/agricola/index.php?option=com_content&view=article&id=9472:-estado-y-gestion-de-los-recursos-hidricos-en-el-ecuador&catid=7:articulos-tecnicos
3. Albuquerque, A., Araújo, A., & Sousa, E. (2004). Application of the advection-dispersion equation to characterize the hydrodynamic regime in a submerged packed bed reactor. En C. d. Coimbra (Ed.), International Conference on Computational & Experimental Engineering & Science. Madeira: Tech Science Press. Obtenido de <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/11417>
4. Alfaro, P. e., Santos, P. M., & Castaño, S. C. (2005). Fundamentos de hidrología. España.
5. Álvarez, L. A., & Nadal, H. (21 de Marzo de 2012). Eco salud - el agua como sustento de la vida. Recuperado el NOVIEMBRE de 2014, de <http://ecosalud.info/uncategorized/el-agua-como-sustento-de-la-vida/>
6. Arias, D. E., Echeverri Ramírez, O., & Hoyos Patiño, F. (Julio de 2012). RELACIONES GEOELECTRICAS EN LA EXPLORACION GEOTECNICA. Boletín de Ciencias de la Tierra(31), 39-50.
7. Arizabalo, & Díaz. (1991). La Contaminacion Del Agua Subterranea y su transporte en Medios Porosos. Mexico.
8. Aurazo de Zumaeta, M. (2004). MANUAL PARA ANÁLISIS BÁSICOS DE CALIDAD DEL AGUA DE BEBIDA. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Obtenido de <http://www.cepis.ops-oms.org>
9. Báez, M. C., Granados, Y. P., & Ronco, A. (2004). Secretaría del medio ambiente y recursos naturales. Ensayos para agua dulce. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/573/cap24.pdf>

10. Baird, C. (2001). Química ambiental (Ilustrada ed.). (Reverte, Ed.)
Obtenido de <http://books.google.es/books?id=bgUaHUqGPYIC>
11. Barrenechea, A. (2000). ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. En Manual I: Teoría. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/un o.pdf>
12. Blancas Cabello, C., & Hervás Ramírez, E. (2001). Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud (Vol. 3). (C. d. Salud, Ed.) Sevilla. Obtenido de [http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/docu mentos/c_3_c_2_medio_ambiente_y_salud/aguas_consumo_publico/c ontaminacion_nitratos2.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/salud/export/sites/csalud/galerias/documentos/c_3_c_2_medio_ambiente_y_salud/aguas_consumo_publico/c ontaminacion_nitratos2.pdf)
13. Bokhoven, J. A., & Lamberti, C. (2014). Structure of aluminum, iron, and other heteroatoms in zeolites by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 277–278(0), 275 - 290. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2014.05.013>
14. Botanical. (8 de Enero de 2015). Botanical-Online SL. Causas de la contaminación del agua. Obtenido de <http://www.botanical-online.com/aguacontaminantes.htm>
15. BRIÈRE, F. G. (2005). Distribución de agua potable, colecta de desagues y de agua lluvia. Canadá.
16. Brière, F.G. (2005). Distribucion de Agua Potable y Colecta de Desages y de Agua de Lluvia. (H. Pizarro, Ed.) École Polytechnique de Montréal. Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de <http://books.google.es/books?id=kgXhjH-vZ78C>
17. Calva, L. G., & Torres, m. d. (1998). Plaguicidas organoclorados. México.
18. Candela, L., & Morell, I. (2009). Basic Chemical Principles of Groundwater. En L. Silveira, & E. J. Usunoff (Edits.), *GROUNWATER* (Vol. II).
19. CARBOTECNIA. (2014). Obtenido de <http://www.carbotecnia.info/producto/medio-zeolita-natural-filtrante/>
20. CASAS, A. (2000). Prospección Geofísica aplicada a la Hidrogeología: Metodologías y técnicas emergentes. Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología, 33-43. Obtenido de

http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/actu_tec_geofi/pdf/3a_ponencia.pdf

21. Castellar Ortega, G. C., Cardozo Arrieta, B. M., Suarez Guerrero, J. F., & Vega Taboada, J. E. (2013). Adsorción por lote y en una columna de lecho fijo del colorante B39 sobre carbón activado granular. *Prospectiva*, 11(1), 66-75. Obtenido de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4697727>
22. Castillo, J., Arbolaez, E., Iglesias, F., Montero, E., Quiñones, R., Cepero, O., . . . Gutiérrez, D. (2010). Análisis físico-químico de agua de pozo de la provincia de Villa Clara. *Revista Electronica de Veterinaria*, 11(03B). Obtenido de http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310B/0310B_DS07.pdf
23. CEPIS, C. P. (1988). SISTEMA DE ABATECIMIENTO DE AGUA PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES. LA HAYA, HOLANDA. Obtenido de <http://es.ircwash.org/sites/default/files/201-88SI-6153.pdf>
24. Cifuentes, D. R., Felizzola, S. M., Ante, C. A., & Sanches, I. J. (Julio de 2012). Remoción de microorganismos patógenos presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio empleando filtros empacados en zeolita natural. *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 11(21), 39-52.
25. CLARA, M. R. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca el limón, San Jerónimo, Honduras. Turrialba, Costa Rica.
26. COASTMAN, E. (2013). COASTMAN ECUADOR. Obtenido de <http://coastmanecuador.com/la-importancia-y-el-cuidado-de-los-acuiferos-en-el-ecuador/>
27. COMPANY, N. C., KEMMER, F. N., & McCALLION, J. (1996). Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México: Tomo I, II, III.
28. Cortijo Herrera, D. (Enero-Diciembre de 2013). Desalcalinización del agua mediante intercambio iónico. *Ingeniería Industrial*(31), 221-238. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337430545010>
29. Corwin, D., & Lesch, S. (March de 2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics*

in Agriculture, 46, 11-43.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>

30. Dozier, M. C., & McFarland, M. (2006). Estándares del agua potable. Texas A&M System, Texas AfriLife Extension Service. AgriLIFE EXTENSION. Obtenido de https://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87331/pdf_2163.pdf?sequence=1
31. DPI, D. d. (2 de Mayo de 2002). Cumbre de Johannesburgo. Obtenido de Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas: http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/agua_ni.htm
32. Enciclopediasalud. (12 de Febrero de 2015). Definición de Quelación. Obtenido de <http://www.enciclopediasalud.com/definiciones/quelacion>
33. Enciso, A. (10 de Octubre de 2014). Hay 60 veces más muertes por cáncer en poblado donde abunda la erionita. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/2014/10/10/ciencias/a02n1cie>
34. FAO, D. d. (1993). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 1993. ROMA, ITALIA. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s00.htm#Contents>
35. FAO, O. d. (2000). Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. Obtenido de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecuador/indexesp.stm
36. Farrera, R. (2004). Acerca de los plaguicidas y su uso en la agricultura. Revista Digital CENIAP HOY. Obtenido de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n6/arti/farrera_r/arti/farrera_r.htm
37. Fernández, D., & Mancipe, L. (15 de Junio de 2010). INTOXICACIÓN POR ORGANOFOSFORADOS. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v18n1/v18n1a09.pdf>
38. Florencia Agosto, M. (2012). Estudio de zeolitas procedentes de depósitos Argentinos. Aspectos tecnológicos que posibiliten su aplicación en agroindustria y contralor ambiental. Tesis (Doctoral), Universidad Nacional De La Plata, Departameto de Química. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26009/Documento_completo.pdf?sequence=1

39. FRAISORO, I. e. (2002). CRITERIOS DE INTERPRETACIÓN DE LA CALIDAD AGROMÓMICA DE LAS AGUAS DE RIEGO. Obtenido de <http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/recomencriteriosdeinterpretacionaguas.pdf>
40. Frohlich, R. K., Urish, D. W., Fuller, J., & O'Reilly, M. (August de 1994). Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment. *Applied Geophysics*, 32, 139-154. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90016-7](http://dx.doi.org/10.1016/0926-9851(94)90016-7)
41. Fundación Santiago de Guayaquil. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2012-2019.
42. Galvan, P. J., & Beneyto, M. S. (2009). Curso de manipulador de agua de consumo humano. Alicante: Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones.
43. GALVEZ, D. J. (2011). Cartilla técnica: Ciclo hidrológico. Obtenido de http://www.gwp.org/Global/GWP-SAM_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
44. gidahatari. (26 de Septiembre de 2013). Principales factores que afectan el régimen de agua subterránea. Obtenido de <http://gidahatari.com/ih-es/principales-factores-afectan-regimen-aguas-subterraneas>
45. Gómez Martín, J. M. (2001). Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas. Tesis (Doctoral), UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Departamento de Ingeniería Química, Madrid. Obtenido de <http://biblioteca.ucm.es/tesis/qui/ucm-t25174.pdf>
46. GreenFacts. (2006). Recursos Hídricos: Resumen del 2do Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Bruselas: GreenFacts asbl/vzw. Obtenido de <http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/index.htm#7>
47. Gupta, S., & Babu, B. V. (2005). Modeling and Simulation of Fixed Bed Adsorption Column: Effect of Operating Variables. Birla Institute of Technology & Science, Department of Chemical Engineering, Rajasthan. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf&doi=10.1.1.207.1806>
48. Gupta, V., & Ali, I. (2013). Environmental Water. Chapter 2 - Water Treatment for Inorganic Pollutants by Adsorption Technology, 29-91.

(V. Gupta, & I. Ali, Edits.) Elsevier. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59399-3.00002-7>

49. GUZMAN, V., & NARVAEZ, R. (2010). Línea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego en la demarcación hidrográfica del guayas. SENAGUA, QUITO. Obtenido de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/LineaBaseDHG.pdf>
50. Herrera, J., & Castilla, J. (2012). Utilización de Técnicas de Sondeos en Captaciones de Agua. Madrid: Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
51. Huguet, J. M. (7 de JULIO de 2005). slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/EdwinLoisZutaGabriel/tipos-acuiferos?related=1>
52. IGME: Porras, J., López, N., Guerrero, P., Fernández, E. A., Ceferino, Fernández, . . . Gimeno, M. V. (1985). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. IGM.
53. Jacobs, P., Flanigen, E., Jansen, J., & van Bekkum, H. (2001). Introduction to Zeolite Science and Practice. (E. Science, Ed.) Obtenido de <https://books.google.es/books?id=UsLE2XGd8noC>
54. LaBaugh, J. (2009). Groundwater Chemistry. En G. E. Likens (Ed.), Encyclopedia of Inland Waters (págs. 703 - 713). Oxford. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00020-X>
55. Lenntech. (2015). Water Treatment Solutions. Obtenido de Cantidad de agua; Fuentes de contaminación de aguas subterráneas; Aplicaciones de las zeolitas; Enfermedades transmitidas por el agua: <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>
56. LENNTECH. (2015). WATER TREATMENT SOLUTIONS. Obtenido de WATER TREATMENT SOLUTIONS: <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>
57. LENNTECH, W. T. (2015). WATER TREATMENT SOLUTIONS. Obtenido de FAQ Cantidad de agua; Fuentes de contaminación de aguas subterráneas; Aplicaciones de las zeolitas; Enfermedades transmitidas por el agua: <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>

58. LEON, D. O. (2013). Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaraguau (Isidro Ayora, provincia del Guayas) y su aplicación en la remoción de amonio en aguas residuales. GUAYAQUIL.
59. Logan, J. (2013). Transport Modeling in Hydrogeochemical Systems (Vol. 15). (S. S. Media, Ed.) Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=MG3IBwAAQBAJ>
60. Lugo, C. C., Fiallo, L. Y., & Alberto, C. (2013). Remoción de Fe y Mn en aguas naturales por adsorción-oxidación sobre clinoptilolita. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N.º 66, 24-44. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n66/n66a03.pdf>
61. M. ELVIRA, A. A. (1998). Contaminación difusa y aguas subterráneas. Compuestos organoclorados: plaguicidas y volátiles. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=Ti3ZZRNlIaaYC&pg=PA112&dq=plaguicidas+organoclorados&hl=es&sa=X&ei=eZvCVLuCLsf7sASW0ILgBg&ved=0CCYQ6AEwAg#v=onepage&q=plaguicidas%20organoclorados&f=false>
62. M.S.P. (23 de Marzo de 2012). Ministerio de Salud Pública. Obtenido de <http://www.salud.gob.ec/informacion-clave-para-el-consumo-de-agua-segura/>
63. Machiels, L., Garcés, D., Snellings, R., Vilema, W., Morante, F., Paredes, C., & Elsen, J. (2014). Zeolite occurrence and genesis in the Late-Cretaceous Cayo arc of Coastal Ecuador: Evidence for zeolite formation in cooling marine pyroclastic flow deposits. *Applied Clay Science*, 87(0), 108 - 119. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2013.10.018>
64. Machiels, L., Morante, F., Snellings, R., Calvo, B., Canoira, L., Paredes, C., & Elsen, J. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador. *Applied Clay Science*, 42, 180-188. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131708000379>
65. Machiels, L., Snellings, R., Morante, F., Elsen, J., & Paredes, C. (Octubre de 2006). Mineralogía Cuantitativa de los Depósitos de Zeolitas en la Costa del Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL*, 19(1), 41-48.

66. Mahlkecht, J. (16 de Noviembre de 2012). Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www.centrodelagua.org/centrodelagua.org/www/documentos/Los-recursos-h%C3%ADricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.aspx>
67. Marshall, S. (2014). The Water Cycle. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09091-6>
68. Martínez, C., & Corma, A. (2013). 5.05 - Zeolites. En J. R. Poeppelmeier (Ed.), *Comprehensive Inorganic Chemistry (Second ed., págs. 103 - 131)*. Amsterdam: Elsevier. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-097774-4.00506-4>
69. Martínez-Ferrer, Á., Peris, P., Reyes, R., & Guañabens, N. (15 de Noviembre de 2008). Aporte de calcio, magnesio y sodio a través del agua embotellada y de las aguas de consumo público: implicaciones para la salud. *Medicina Clínica*, CXXXI(17). doi:10.1157/13128721
70. McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1998). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química (Cuarta ed.)*. Madrid: McGraw-Hill.
71. Menacho Solà-Morales, J. M. (2012). Simulación numérica y optimización de los parámetros de funcionamiento de un SMB. Universitat Ramon Llull, Departamento de Ingeniería Química, Barcelona.
72. MILIARIUM. (2008). Actividades agrícolas; Contaminación del agua por nitratos. Obtenido de <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Nitratos/Welcome.asp>
73. Møller, I., Sørensen, K. I., & Auken, E. (2008). Leibniz institute for applied geophysics. Obtenido de Leibniz institute for applied geophysics: http://www.liag-hannover.de/fileadmin/user_upload/dokumente/Grundwassersysteme/BURVAL/buch/077-088.pdf
74. Morante Carballo, F. E. (2004). LAS ZEOLITAS DE LA COSTA DE ECUADOR(GUAYAQUIL): GEOLOGÍA, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES. Tesis (Doctoral), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (UPM), Ingeniería Geológica. Obtenido de <http://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf>

75. MORANTE CARBALLO, F. E. (2014). ZEOLITAS NATURALES DEL ECUADOR: GEOLOGIA, CARACTERIZACION Y APLICACIONES. GUAYAQUIL. Obtenido de <http://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf>
76. Murthy, V. N. (2002). Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering (Ilustrada ed.). (C. Press, Ed.) Obtenido de http://books.google.com.ec/books/about/Geotechnical_Engineering.html?id=Lhetuhms4t4C&redir_esc=y
77. ODILIA GUTIÉRREZ, I. S. (2006). Zeolita natural para la reducción de la dureza del agua. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193017714008.pdf>
78. Olivas Enríquez, E., Márgee, F., & Otros. (2013). CONTAMINACIÓN FECAL EN EL AGUA POTABLE DEL VALLE DE JUÁREZ. Terra Latinoamerica, 31(2), 135-143. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57328308006>
79. OPS/OMS, O. p. (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad de agua. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf
80. Organización Panamericana de la Salud. (11 de Abril de 2013). Salud en las Americas. Obtenido de http://www.paho.org/saludenlasamericas/index.php?id=40:ecuador&option=com_content
81. Osindky, D., & Mager Stellman, J. (1996). Minerales y Productos Químicos para la Agricultura. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Obtenido de http://www.cso.go.cr/tematicas/higiene/agentes/quimico/01_minerales.pdf
82. PANNA, P. A. (2001). Organophosphorous pesticides. Obtenido de http://www.chemicalbodyburden.org/cs_organophos.htm
83. Patel, K. K., Metha, M. N., & Singh, T. R. (2014). A Solution of One-dimensional Advection-diffusion equation for Concentration Distribution in fluid flow through Porous Media by Homotopy Analysis Method. Journal of Engineering Research and Applications, 4(2), 421-428. Obtenido de www.ijera.com

84. Pozo, M., & Carretero, M. I. (2008). RECURSOS MINERALES Y SALUD. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16(3), 262-275.
85. PreNatal. (Septiembre de 2007). Prevención de discapacidades. Obtenido de Diagnostico de la situacion de los plaguicidas 1A y AB en el Ecuador:
<http://www.prenatal.tv/lecturas/ecuador/PLAGUICIDAS%20alerta151.pdf>
86. Quiminet. (2014). LA IMPORTANCIA DEL USO DE RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO. Obtenido de http://www.quiminet.com/articulos/la-importancia-del-uso-de-las-resinas-de-intercambio-ionico-3841833.htm?mkt_source=486&mkt_medium=Q&mkt_term=&mkt_content=&mkt_campaign=1
87. Ramírez Flores, E., Robles Valderrama, E., Ayala Patiño, R., & Martínez Rodríguez, B. (Septiembre-Diciembre de 2012). Calidad amebológica del agua de pozos utilizados para suministrar de agua potable en el Estado de Hidalgo. Ingeniería, 16(3), 2019-228. Recuperado el 22 de Marzo de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46725267006>
88. RAMIREZ, & CUENCA, N. (s.f.). SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA. GESTION DE RECURSOS HIDRICOS EN EL ECUADOR. Obtenido de <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
89. Rivero Martínez, M. J. (2002). Diseño del proceso de purificación de estireno mediante adsorción en alúmina. Universidad de Cantabria, Ingeniería Química y Química Inorgánica. Obtenido de <http://www.tdx.cat/handle/10803/10687>
90. Rodríguez, R. Á. (Octubre de 2002). Grupo de Tecnologías Limpias. Obtenido de Alternativa de Eficiencia y Ecología: http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/geologia/economica/ZEOLITA_GMTERRA.pdf
91. Ros, G. D. (1995). La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica (Ilustrada ed.). (E. A. Yala, Ed.) Recuperado el 14 de Marzo de 2015, de <http://books.google.com.ec/books?id=rPQrAHRxzyYC&printsec=frontc>

over&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

92. Rouquerol, J., Llewellyn, P., & Sing, K. (2014). 12 - Adsorption by Clays, Pillared Clays, Zeolites and Aluminophosphates. En F. Maurin, R. J., Rouquerol K.S.W., Sing P., & Llewellyn G. (Edits.), Adsorption by Powders and Porous Solids (Second ed., págs. 467 - 527). Oxford: Academic Press. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-097035-6.00012-7>
93. Rubio, R. F., Sánchez, J. F., Camacho, B. L., & Geta, J. L. (2000). JORNADAS TECNICAS SOBRE AGUAS SUBTERRANEAS Y ABASTECIMIENTO URBANO. (IGME, Ed.) España. Obtenido de <http://books.google.es/books?id=GNbDbTZDG5oC>
94. Saleh, S. M., Wan, D. W., & Ahmad, S. (2014). A review of mathematical modeling of fixed-bed columns for carbon dioxide adsorption. Chemical Engineering Research and Design, 92(5), 961-988. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2013.08.018>
95. Sanz De Juan, A. (2012). Diseño de ciclos PSA para la captura de CO₂ de gases de combustión con adsorbentes comerciales. Tesis (Doctoral), Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Ingeniería Química, Madrid.
96. Sharma, R. K., Gulati, S., & Puri, A. (2014). 3 - Green Chemistry Solutions to Water Pollution. En S. Ahuja (Ed.), Water Reclamation and Sustainability (págs. 57-75). Boston. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-411645-0.00003-1>
97. Soto, J. (Septiembre de 2009). SCIELO. Obtenido de La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432010000200004&script=sci_arttext
98. Stefanakis, A. I., & Tsihrintzis, V. A. (2012). Use of zeolite and bauxite as filter media treating the effluent of Vertical Flow Constructed Wetlands. Microporous and Mesoporous Materials, 155, 106-116. doi:10.1016/j.micromeso.2012.01.022
99. Treybal, R. E. (1980). Operaciones (Segunda ed.). (A. García Rodríguez, Trad.) McGraw Hill. Obtenido de <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/operaciones-de-transferencia-de-masa-robert-e-treybal.pdf>

100. USGS. (17 de Marzo de 2014). U. S. Geological Survey. (U.S. Geological Survey) Recuperado el 12 de Enero de 2015, de <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
101. Vargas, J. R. (2002). Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. San José, Costa Rica: EUNED. Obtenido de <http://books.google.es/books?id=1tHLuRaqBzEC>
102. Vera, M. y. (16 de Julio de 2012). Maquinaria y Servicios la Vera. Obtenido de <http://maquinarialavera.es/tag/subterranea/>
103. Verguinia, P. S., Lourdes, R. H., Soberanis, M. P., & Carbajal, R. F. (s.f.). ESTUDIO PILOTO PARA LA REMOCIÓN DE MANGANESO EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE GUAYMAS, SONORA. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02057e14.pdf>
104. Villanueva Martínez, M., & Iglesias López, A. (1984). Pozos y Acuíferos: técnicas de Evaluación mediante ensayos de bombeo. (I. G. España, Ed.) Madrid, España.
105. Virta, R. L. (2002). ZEOLITES. U.S. GEOLOGICAL SURVEY MINERALS YEARBOOK. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeolmyb02.pdf>
106. Visscher, J., Paramasivam, R., Raman, A., & Heijnen, H. (1992). FILTRACIÓN LENTA EN ARENA: TRATAMIENTO DE AGUA PARA COMUNIDADES: Planeamiento, diseño, construcción, operación y mantenimiento (Vol. 24). Lima, Perú. Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de <http://www.ircwash.org/node/36222>
107. VIVAS, D. B. (JUNIO de 2013). ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍAS E INGENIERÍA. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401540/exe/leccin_4_uso_de_las_zeolitas.html
108. Wang, S., & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, 156(1), 11 - 24. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>
109. Werner, J. (1996). Introducción a la Hidrogeología (Primera ed.). (U. A. León, Ed.) Nuevo León, Mexico. Obtenido de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080066373/1080066373.PDF>

110. Widiastuti, N., Wu, H., Ang, M., & Zhang, D.-k. (2008). The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination*, 218, 271 - 280. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.022>
111. Xu, R., Pang, W., Yu, J., Huo, Q., & Chen, J. (2007). *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials: Synthesis and Structure*. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
112. Xu, Z., CAI, J.-g., & Bing-cai, P. (2013). Mathematically modeling fixed-bed adsorption in aqueous systems*. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 14(3), 155-176. doi:10.1631/jzus.A1300029
113. Yang, S., Lach-hab, M., Vaisman, I. I., Blaisten-Barojas, E., Li, X., & Karen, V. L. (2010). Framework-Type Determination for Zeolite Structures In the Inorganic Crystal Structure Database. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 39(3). doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3432459>
114. Yukselen-Aksoy, Y. (2010). Characterization of two natural zeolites for geotechnical and geoenvironmental applications. *Applied Clay Science*, 50(1), 130 - 136. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2010.07.015>
115. Yusuff, A. S., Popoola, O. O., Adeodu, A. O., & Daniyan, I. A. (2013). Mathematical Modelling of Fixed Bed Adsorption Column for Liquid Phase Solute: Effect of Operating Variables. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(8), 811-822. Obtenido de <http://www.ijser.org/researchpaper%5CMathematical-Modelling-of-Fixed-Bed-Adsorption-Column-for-Liquid-Phase-Solute-Effect-of-Operating-Variables.pdf>
116. Zambrano, J. L. (2010). Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del rio blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo. RIOBAMBA.
117. Zhang, H., & Cheng, D. (2000). Mathematical model for a fixed bed adsorptive reactor. *Carbon*, 38(6), 877 - 880. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(99\)00184-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(99)00184-0)