

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**DESCONTAMINACIÓN POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN EN AGUA
DE POZOS Y AGUA LLUVIA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO
EN COMUNIDADES RURALES UBICADAS AL SUR DEL
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

PRESENTADO POR:

KARLA MARGARITA HERNÁNDEZ CASTRO

CLAUDIA VERÓNICA ORTEZ MORÁN

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUIMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :

Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR :

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICA

Título :

**DESCONTAMINACIÓN POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN EN AGUA DE POZOS
Y AGUA LLUVIA DESTINADA AL CONSUMO HUMANO EN COMUNIDADES
RURALES UBICADAS AL SUR DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

Presentado por :

Karla Margarita Hernández Castro

Claudia Verónica Ortez Morán

Trabajo de Graduación aprobado por :

Docente Directora :

Ingra. Eugenia Salvadora Gamero De Ayala

Docente Director :

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

San Salvador, Marzo de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

Ingra. Eugenia Salvadora Gamero De Ayala

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

AGRADECIMIENTOS

La realización de este Trabajo de Graduación fue posible gracias a la contribución de la **Fundación para la Cooperación y Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES) La Libertad y la Organización Intereclesiástica para la Cooperación y el Desarrollo (ICCO).**

Es sumamente importante mencionar la cooperación de los miembros de las Directivas de las siguientes comunidades: **El Mango, San Luis El Coyolar, Bocapoza y Melara, del Municipio La Libertad, Departamento La Libertad,** quienes de manera desinteresada nos brindaron su valiosa colaboración en la fase de trabajo de campo de nuestro Trabajo de Graduación.

A nuestros Asesores: **Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán e Ingra. Eugenia Gamero de Ayala,** por proporcionarnos sus conocimientos, experiencia e información necesaria y de vital importancia para la elaboración de nuestro Trabajo de Graduación.

Ing. Arnulfo Franco, Coordinador del Proyecto ICCO-CORDES, por su importante participación y apoyo en la realización y culminación de nuestro Trabajo de Graduación. Por facilitarnos el contacto con las comunidades participantes del Proyecto de Investigación.

Ing. Nelson Arévalo, Gerente Regional de CORDES La Libertad, por su valiosa colaboración y apoyo proporcionado para llevar a cabo nuestro Trabajo de Graduación.

Srta. Elena Amaya, Secretaria de CORDES La Libertad, por su importante contribución en el desarrollo de nuestro Trabajo de Investigación.

Srta. Magdalena Escoto, Recepcionista de CORDES La Libertad, por su significativa ayuda y cooperación.

Y al demás personal de **CORDES La Libertad,** por el excelente apoyo que nos brindaron en las diferentes actividades que se llevaron a cabo para la ejecución y culminación del Trabajo de Investigación.

Nancy Thornton, Cooperante Canadiense, por proporcionarnos el acercamiento con las comunidades participantes y brindarnos toda la asistencia necesaria al inicio de nuestro Trabajo de Investigación.

Al personal del Laboratorio de Agua de la Asociación Salvadoreña de Ayuda Humanitaria (PROVIDA) especialmente a **Licda. Karen Ramírez**, por la ayuda proporcionada en la realización de los Análisis Químicos y Microbiológicos como parte del Trabajo de Graduación.

Ing. Fernando Teodoro Ramírez, Director de la Escuela de Ingeniería Química, por proporcionarnos el apoyo necesario en diferentes momentos de la ejecución de nuestro Trabajo de Graduación.

A Guadalupe Herrera, Secretaria de la Escuela de Ingeniería Química, por brindarnos una excelente colaboración en varias etapas de la realización de nuestro Trabajo de Graduación y por tratarnos siempre con mucha amabilidad y agrado.

Al personal del Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, especialmente a **Licda. Katia y Licda. Odette Rauda** por facilitarnos las instalaciones del Laboratorio para realizar algunas pruebas necesarias para nuestro Trabajo de Graduación y por brindarnos parte de su valioso tiempo para ayudarnos a realizar dichas pruebas.

Ingra. Marisela Saravia, Jefe de Laboratorio de Escuela de Ingeniería Química, por facilitarnos las instalaciones de la Planta Piloto para la ejecución de parte de la etapa experimental del Trabajo de Graduación.

Dr. Néstor Orellana, Catedrático de la Escuela de Química, por facilitarnos las instalaciones del Laboratorio de la referida escuela para realizar algunas pruebas necesarias para nuestro Trabajo de Graduación.

De manera especial, a nuestros padres, familiares y amigos que de forma directa o indirecta contribuyeron a la realización y culminación de nuestro trabajo de Graduación.

Y a todas aquellas personas, que de alguna manera participaron en la realización de nuestro Trabajo de Graduación, les agradecemos infinitamente la importante colaboración que nos proporcionaron.

KARLA MARGARITA HERNÁNDEZ CASTRO.

CLAUDIA VERÓNICA ORTEZ MORÁN.

DEDICATORIA

A DIOS Todopoderoso y a la Santísima Virgen María: Por siempre darme más de lo que he pedido, concediéndome la dicha de la vida y de poseer a mi alrededor personas que me aman y apoyan incondicionalmente.

A mi adorada madrecita Julia de Hernández: Por tu amor, amistad, ejemplo, enseñanzas, apoyo, esfuerzo, comprensión, confianza en mi y por todas esas virtudes que me hacen querer parecerme a tí. MADRE ESTE TRIUNFO ES TUYO

A mi querido padre Carlos Hernández Ramos: Por su esfuerzo a lo largo de la consecución de este título, apoyo, confianza, ejemplo de vida y porque su familia siempre ha sido su prioridad.

A mi amado Bernardo Arnoldo Salazar Jiménez: Por su amor, consejos, ejemplo, comprensión, apoyo, paciencia y dedicación hacia mi persona. Gracias porque a tu lado siempre soy capaz de seguir adelante dando mi mayor esfuerzo. Te dedico este logro.

A mis hermanos Carlos y Ada, y mi querido sobrinito Armandito: Porque su cariño, admiración, confianza y apoyo me han acompañado toda mi vida, haciéndolos las personas con las que siempre podré contar.

A mi tía Amanda Luz: Por su apoyo desinteresado, confianza y oraciones en todo momento.

A mi querida amiga y compañera Claudia Ortez: Por su paciencia, apoyo y por todos los lindos, tristes y difíciles momentos que hemos compartido en la U, me alegro que hayas sido mi compañera de tesis.

A mis amigos: Armando Henríquez, Familia Salazar-Jimenez, Karen Sanchez, Familia Castro- Alvarenga, Familia Rodríguez: Porque son parte importante en el logro de esta meta.

A Ingra. Eugenia de Ayala e Ing. Juan Ramírez: Por la oportunidad de poder llevar a cabo el presente trabajo de graduación ayudándome a orientar mi formación hacia la resolución de uno de los principales problemas actuales como es la escasez y contaminación del agua.

Al personal docente de la Escuela de Ingeniería Química: Gracias por compartir conmigo enseñanzas, tiempo y sabiduría.

KARLA MARGARITA HERNÁNDEZ CASTRO

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso y a la Santísima Virgen María, por brindarme la oportunidad de realizar una de mis metas en la vida, por iluminarme y ayudarme siempre, por guiarme y cuidarme en todo momento.

A mi mamá, Verónica de Ortez, por apoyarme, aconsejarme, darme su amor y ser mi mayor ejemplo de paciencia y perseverancia, para lograr la obtención de mis propósitos.

A mi papá, José Roberto Ortez, por todo el esfuerzo y sacrificio realizado para la culminación de mi carrera. Por brindarme su apoyo, comprensión, cariño e impulsarme a ser valiente a lo largo de mi vida.

A mis hermanos: Carolina Lizeth, Elsy Margarita y Roberto Francisco, por apoyarme, comprenderme y por brindarme consuelo en los momentos difíciles.

A la familia Peña Morán, por darme siempre su apoyo y ayuda incondicional.

A Karla Hernández, mi compañera y amiga, por la enorme paciencia que tiene conmigo y por el apoyo recibido de su parte todos estos años.

A Madre Antonia Schedlo, por preocuparse siempre de mi bienestar y por todas sus oraciones y atenciones muy oportunas.

A Ing. Juan Ramírez e Ingra. Eugenia Gamero de Ayala, por el apoyo brindado para la realización del presente Trabajo de Graduación.

A Ingra. Cecilia de Flamenco, de manera especial le agradezco todos los consejos que me brindó y todo el apoyo recibido de su parte.

Con mucho respeto a las siguientes personas: **Ingra. Delmy Rico, Ingra. Tania Torres, Ing. Francisco Arévalo, Licda. Xochil de Villatoro,** y a todas aquellas personas que de una o de otra forma a lo largo de mi vida estudiantil me brindaron su ayuda y apoyo, como una muestra de agradecimiento.

CLAUDIA VERÓNICA ORTEZ MORÁN

RESUMEN

La escasez y contaminación de las fuentes de agua está agudizándose cada vez más, razón por la cual es necesario buscar fuentes alternativas para el abastecimiento de aguas para consumo humano.

Una alternativa es el aprovechamiento del agua lluvia, principalmente en lugares alejadas de las ciudades y zonas industriales existe la posibilidad de obtener agua lluvia con poca o nula contaminación. Algunas comunidades ubicadas al sur del departamento de La Libertad cuentan con tanques captadores de agua lluvia, lo cual contribuye a la facilidad de almacenamiento, solamente es cuestión de informar a la población los beneficios que puede obtener del aprovechamiento de agua lluvia para fines de consumo humano. De hecho en comunidades rurales de otros lugares de El Salvador, es la alternativa que emplean actualmente para proveerse de agua de consumo humano.

La alternativa más común es el consumo de agua de pozos, siempre y cuando existe factibilidad para ello. Sin embargo los pozos generalmente se contaminan por diversas fuentes: aplicación de abonos, pesticidas y herbicidas a los terrenos cultivables adyacentes a los pozos, por intrusión salina, por letrinas y por infiltraciones diversas, lo cual es verdaderamente alarmante, ya que estas contaminaciones repercuten directamente en la salud de los consumidores de dicha agua.

De los análisis fisicoquímicos realizados al agua con el fin de caracterizarla, se encontraron varios parámetros que se encuentran fuera de los niveles permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01.99:

- 1- Las muestras de agua de pozo de la comunidad Melara, presentan valores de nitrato y boro fuera de los límites permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01.99.
- 2- Las muestras de agua de pozo de la comunidad Bocapoza, presentan valores de alcalinidad total, calcio, hierro total, magnesio, nitratos, sodio, potasio y boro fuera de los límites permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01.99

Es importante recalcar que ambas comunidades están ubicadas en la zona costera del departamento de La Libertad, en particular Bocapoza es una comunidad costera, lo que puede influir en que dichos valores estén fuera de norma.

En cuanto a parámetros microbiológicos, ambas comunidades presentaron valores fuera de norma para E. Coli, Coniformes fecales y coniformes totales.

Para el caso de las muestras de agua lluvia, el único parámetro fuera de norma fue el nitrato, tanto en la Comunidad San Luis El Coyolar como en El Mango. De los análisis microbiológicos para el agua lluvia, únicamente los coniformes totales se encontraron fuera de norma.

Para realizar la descontaminación de las muestras de agua se construyó un sistema de tres columnas conteniendo materiales adsorbentes: perlita expandida, carbón activado artesanal, piedra volcánica y carbón activado comercial (para fines comparativos), aprovechando el poder adsorbente que tienen dichos materiales.

El carbón activado se fabricó en dos procesos: a nivel de laboratorio y a nivel artesanal.

A nivel de laboratorio se realizaron pruebas para determinar el grado de madurez de la concha de coco, la variedad de coco a utilizar y la temperatura óptima de carbonización. La activación que se realizó fue térmica o física, mediante vapor de agua.

A nivel artesanal, el carbón activado se fabricó utilizando coco maduro de la variedad alto del pacífico como precursor. La carbonización de la concha de coco se realizó en horno artesanal semicircular o de media luna.

Luego de fabricar el carbón activado artesanal, los demás materiales adsorbentes: perlita y piedra volcánica se sometieron a diversos procesos físicos para incrementar sus propiedades adsorbentes. En particular, la perlita cruda fue sometida a calcinación en horno para elaborar ladrillo artesanal, con el fin de obtener perlita expandida.

Se realizó también la caracterización de perlita y carbón activado artesanal para determinar el área superficial específica y de esta manera la capacidad de adsorción de los mismos. Para ello se utilizó el Índice de azul de metileno, resultando la perlita expandida con mayor área superficial específica en comparación con el carbón activado artesanal.

Posterior a la caracterización de las muestras de agua lluvia y agua de pozos de las diferentes comunidades participantes en la investigación, se procedió a pasar las muestras de agua a través de las columnas de adsorción conteniendo los materiales adsorbentes, tomando muestras del efluente de las columnas para realizar el análisis químico de las muestras cuantificando los siguientes parámetros: sulfato, cloruro, nitrato y dureza total con la finalidad de determinar la capacidad de remoción de los materiales adsorbentes y establecer cuál columna es la más adecuada para realizar el proceso de descontaminación de las aguas.

Para la Comunidad Bocapoza (muestra: agua de pozo) la columna de carbón comercial + perlita expandida presenta mayor porcentaje de remoción de nitratos, sulfatos y dureza total; para el caso de cloruros, la columna de carbón activado artesanal + perlita expandida presentó mayor porcentaje de remoción de cloruros.

Para la Comunidad Melara (muestra: agua de pozo), la columna de carbón comercial + perlita expandida presenta mayor porcentaje de remoción de nitratos y sulfatos; para cloruros, la mejor columna resultó ser la de carbón activado artesanal + perlita expandida; para dureza total, la columna que mejor remueve dicho contaminante es la de Perlita expandida.

Para la Comunidad San Luis El Coyolar (muestra: Agua lluvia), la columna con piedra volcánica presenta mayor porcentaje de remoción de nitratos y cloruros; para sulfatos y dureza total, la columna con perlita expandida es la que presentó el mayor porcentaje de remoción.

Para la Comunidad El Mango (muestra: agua lluvia), la columna que mejor removió cloruros fue la de piedra volcánica; para sulfatos y dureza total, la columna que mejor removió dichos contaminantes fue la de perlita expandida. En el caso de nitratos ninguna columna removió dicho contaminante.

Después de la determinación de Porcentaje de remoción de contaminantes de cada columna, se procedió a utilizar las ecuaciones de adsorción para la determinación del punto de quiebre y punto de saturación de cada uno de los lechos adsorbentes que fueron utilizados en las comunidades Melara y Bocapoza, dichos valor fueron expresados en función del volumen de muestra de agua que pasó por cada sistema y del tiempo total en el que cada equipo fue utilizado. Únicamente las muestras de agua de pozo proporcionaron resultados consistentes con la teoría de adsorción.

Finalmente, se investigaron métodos de regeneración de adsorbentes, idóneo a la naturaleza del proyecto y se optó por la regeneración térmica.

Para el carbón activado artesanal, la regeneración consistió en someterlo nuevamente al proceso de activación mediante vapor de agua. Para la perlita expandida, la regeneración consistió en someterlo otra vez al proceso de calcinación.

Se propone el empleo del relleno sanitario como alternativa de disposición final de adsorbentes, debido a que es la opción menos contaminante para el medio ambiente y económicamente más favorable.

INDICE

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	i
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xix
INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I	
PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA SITUACIÓN DE LAS AGUAS EN EL SALVADOR	
1.1 EL AGUA	1
1.1.1 CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA	1
1.1.1.2. UTILIZACIÓN DE AGUA EN EL SALVADOR	1
1.2 LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SUS EFECTOS	2
1.2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA	2
1.2.1.1 CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES DOMÉSTICAS	3
1.2.1.2. CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL	4
1.2.1.3 CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDAD AGROINDUSTRIAL	5
1.2.3 ALTERACIONES MICROBIOLÓGICAS Y FISICOQUÍMICAS DEL AGUA	5
1.2.4 LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	7
1.2.5 LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA LLUVIA	8
1.2.5.1 LALLUVIA ÁCIDA	9
1.3 ESCASEZ E INACCESIBILIDAD DEL AGUA POTABLE EN ZONAS RURALES DE EL SALVADOR	10
1.3.1 ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES	11
1.3.1.1 CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO	12

1.4 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	13
CAPÍTULO II	
CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	15
2.1 COMUNIDAD BOCAPOZA	15
2.1.1 GENERALIDADES DE LA ZONA	15
2.1.1.1 VEGETACIÓN	15
2.1.1.2 CLIMA	15
2.1.1.3 ASPECTO FÍSICO	15
2.1.1.4 VIVIENDA	16
2.1.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	17
2.1.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	17
2.1.3 SERVICIOS	17
2.1.4 ASISTENCIA SANITARIA	18
2.2 COMUNIDAD MELARA	18
2.2.1 GENERALIDADES DE LA ZONA	18
2.2.1.1 VEGETACIÓN	18
2.2.1.2 CLIMA	18
2.2.1.3 ASPECTO FÍSICO	18
2.2.1.4 VIVIENDA	18
2.2.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	19
2.2.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	19
2.2.3 SERVICIOS	19
2.2.4 ASISTENCIA SANITARIA	20
2.3 COMUNIDAD EL MANGO	20
2.3.1 GENERALIDADES DE LA ZONA	20
2.3.1.1 VEGETACIÓN	20
2.3.1.2 CLIMA	20
2.3.1.3 ASPECTO FÍSICO	20
2.3.1.4 VIVIENDA	21
2.3.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	21
2.3.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	21
2.3.3 SERVICIOS	21
2.3.4 ASISTENCIA SANITARIA	22
2.3.5 COMENTARIOS SOBRE SERVICIOS	22
2.4 COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	22
2.4.1 GENERALIDADES DE LA ZONA	22

2.4.1.1 VEGETACIÓN	22
2.4.1.2 CLIMA	22
2.4.1.3 ASPECTO FÍSICO	23
2.4.1.4 VIVIENDA	23
2.4.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	23
2.4.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	24
2.4.3 SERVICIOS	24
2.4.4 ASISTENCIA SANITARIA	24
CAPITULO III	
PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS	25
3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN	25
3.1.1 GENERALIDADES	25
3.1.2 TIPOS DE OPERACIONES DE ADSORCIÓN	25
3.1.3 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	26
3.1.3.1 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE GASES Y VAPORES	27
3.1.3.2 ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR	28
3.1.3.2 ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE FREUNDLICH O CLÁSICA	29
3.1.3.4 ISOTERMA DE BET	30
3.1.4 OPERACIONES DE ADSORCIÓN	30
3.1.4.1 SISTEMA DISCONTINUO O TANQUE AGITADO	30
3.1.4.2 SISTEMA SEMICONTINUO O DE LECHO FIJO	30
3.1.4.3 SISTEMA DE CONTACTO CONTINUO	31
3.1.5 ECUACIONES DE ADSORCIÓN	32
3.1.6 ETAPAS CINÉTICAS DE LA ADSORCIÓN	33
3.1.7 TIPOS DE ADSORBENTES	34
3.2 GENERALIDADES DEL CARBÓN ACTIVADO	35
3.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVADO	36
3.2.2 PARÁMETROS QUE INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES DE ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	38
3.2.3 FABRICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	39
3.2.3.1 GENERALIDADES DEL COCO	40
3.2.3.2 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	40

3.2.3.3 USOS	41
3.2.3.4 VARIEDADES DE COCO EN EL SALVADOR	42
3.2.4 CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	43
3.2.4.1 CARBÓN GRANULAR	44
3.2.4.2 CARBÓN PULVERIZADO	45
3.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL EMPLEO DE CARBÓN ACTIVADO ENPOLVO Y EN LECHOS FILTRANTES EN GRANO	47
3.2.5 PURIFICACIÓN EN FASE LÍQUIDA	
3.2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS EN EL AGUA	48
3.2.7 CONSIDERACIONES AL APLICAR CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA	49
3.2.8 PROCESOS DE ACTIVACIÓN DEL CARBÓN	50
3.2.8.1 PROCESO FÍSICO	51
3.2.8.2 PROCESO QUÍMICO	52
3.2.9 APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO	53
3.2.10 REGENERACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	53
3.2.11 DISPOSICIÓN FINAL DEL ADSORBENTE	55
3.3 GENERALIDADES DEL MINERAL PERLITA	56
3.3.1 UTILIZACIÓN DE LA PERLITA EXPANDIDA	57
3.3.2 YACIMIENTOS DE PERLITA EN EL SALVADOR	58
3.3.3 EVALUACIÓN DEL MINERAL COMO ADSORBENTE	58
3.3.4 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LA PERLITA	58
3.4 GENERALIDADES DE LA PIEDRA VOLCÁNICA	59
CAPITULO IV	
4.0 MUESTREO DE AGUA LLUVIA	60
4.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DEL AGUA LLUVIA	60
4.2 VISITAS DE CAMPO A LAS COMUNIDADES SELECCIONADAS	61
4.2.1 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	61
4.2.2 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD EL MANGO	62
4.3 EQUIPO PARA RECOLECCIÓN Y MEDICIONES DE CAMPO DE MUESTRAS DE AGUA LLUVIA	63
4.4 DESCRIPCIÓN DE RECIPIENTE COLECTOR Y DE MUESTREO DE AGUA LLUVIA	64

CAPITULO V	
5.0 MUESTREO DE AGUA DE POZO	69
5.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO	69
5.2 VISITAS DE CAMPO A LAS COMUNIDADES SELECCIONADAS	70
5.2.1 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD BOCAPOZA	70
5.2.2 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD MELARA	70
5.3 DESCRIPCIÓN DEL RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE POZO	71
5.4 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA DE POZO	71
5.5 CARACTERÍSTICAS DE DETERMINACIONES ANALÍTICAS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZO	72
CAPÍTULO VI	
6.0 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA EN MUESTRAS DE AGUA	73
6.1 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA	73
6.2 REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICA	73
6.3 DESCRIPCIÓN DEL RECIPIENTE PARA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO	74
6.3 PLAN DE ANÁLISIS ESTABLECIDO	74
6.3.1 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA	75
6.3.2 REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICA	75
CAPÍTULO VII	
7.0 PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL A PARTIR DE CONCHA O HUESO DE COCO	76
7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE CARBONIZACIÓN DE CONCHA DE COCO	77
7.1.1 RECOLECCIÓN DE LAS ESTOPAS DE COCO	77
7.1.2 SELECCIÓN DE ESTOPAS DE COCO	77
7.1.3 EXTRACCIÓN DE CONCHA DE COCO	77
7.1.4 SECADO AL AMBIENTE DE LA CONCHA DE COCO	78
7.1.5 REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA CONCHA DE COCO	78
7.1.6 CALCINACIÓN DE LA CONCHA DE COCO	78
7.1.6.1 PRUEBAS PRELIMINARES DE CALCINACIÓN DE CONCHA DE COCO	79

7.2 ACTIVACIÓN DEL CARBÓN DE COCO A NIVEL DE LABORATORIO	84
7.3 ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL ARTESANAL	88
7.3.1 CARBONIZACIÓN ARTESANAL DE LA CONCHA DE COCO	98
7.3.2 ACTIVACIÓN ARTESANAL DE CARBÓN	97
CAPÍTULO VIII	99
8.0 CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN	99
8.1 PREPARACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES	99
8.1.1 CALCINACIÓN DE LA PERLITA	100
8.1.2 TAMIZADO Y PESADO DE MATERIALES ADSORBENTES	102
8.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN	105
CAPÍTULO IX	112
9.0 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES	112
9.1 FUNDAMENTO DEL MÉTODO	112
9.2 FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MATERIALES ADSORBENTES POR ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO	113
9.3 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA	115
9.4 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	120
CAPITULO X	125
10.0 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA	125
10.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	125
10.1.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE POZO DE COMUNIDAD BOCAPOZA	125
10.1.2 CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	126
10.1.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	
10.1.2.2 PARÁMETROS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	127
10.1.2.3 PARÁMETROS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS DE TIPO INORGÁNICO DE ALTO RIESGO PARA LA	

SALUD DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	127
10.1.2.4 PARÁMETROS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN AGUA DE POZO DE COMUNIDAD BOCAPOZA	128
CAPITULO XI	130
11.0 PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA POR COLUMNAS DE ADSORCIÓN	130
11.1 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE LA COMUNIDAD BOCAPOZA	130
11.1.1 REMOCIÓN DE BORO DE MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA	132
11.2 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE LA COMUNIDAD MELARA	132
11.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE LA COMUNIDAD EL MANGO	134
11.4 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE LA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y PUNTO 2)	136
CAPÍTULO XII	138
12.0 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	138
12.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE ACUERDO AL VOLUMEN DEL EFLUENTE	138
12.1.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE COMUNIDAD BOCAPOZA	138
12.1.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE COMUNIDAD MELARA	140
12.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	142
12.1.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD EL MANGO	144
12.2 COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR CADA UNO DE LOS MATERIALES ADSORBENTES UTILIZADOS EN CADA MUESTRA DE AGUA.	146

12.2.1	COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNIDAD DE BOCAPOZA	147
12.2.2	COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNIDAD MELARA	148
12.2.3	COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	150
12.2.4	COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA COMUNIDAD EL MANGO	152
12.3	DETERMINACIÓN DE LAS CURVA DE RUPTURA, ONDA DE ADSORCIÓN E ISOTERMA PARA LAS MUESTRAS DE COMUNIDADES MELARA Y BOCAPOZA	153
12.3.1	CURVAS DE ADSORCIÓN PARA COMUNIDAD MELARA.	153
12.3.2	CURVAS DE ADSORCIÓN PARA COMUNIDAD BOCAPOZA	166
	CAPÍTULO XIII	174
	13.0 REGENERACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES	174
13.1	REGENERACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES A NIVEL ARTESANAL	174
13.1.1	REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	174
13.1.2	REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA	174
13.2	DISPOSICIÓN FINAL DE LOS ADSORBENTES	175
	CONCLUSIONES	179
	RECOMENDACIONES	181
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182
	ANEXOS	A1

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCION	PÁGINA
1.1	CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA	2
1.2	CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS	7
1.3	CONTAMINACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA	8
1.4	GENERACIÓN DE LLUVIA ÁCIDA ANTROPOGÉNICA	9
1.5	SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS	12
2.1	ASPECTO FÍSICO DE LA COMUNIDAD BOCAPOZA	16
2.2	VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD BOCAPOZA	16
2.3	ASPECTO FÍSICO DE COMUNIDAD MELARA	18
2.4	VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD MELARA	19
2.5	ASPECTO FÍSICO DE COMUNIDAD EL MANGO	21
2.6	VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIAD EL MANGO	21
2.7	ASPECTO FÍSICO DE COMUNIDAD EL COYOLAR	23
2.8	VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD EL COYOLAR	23
3.1	DIVERSOS TIPOS DE ISOTERMAS QUE REPRESENTAN LA ADSORCIÓN	26
3.2	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS SEIS TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN	27
3.3	CURVAS EN EL EQUILIBRIO DE FREUNDLICH	30
3.4	DIAGRAMA DE CURVA DE EQUILIBRIO Y BALANCE DE MATERIA ALREDEDOR DEL EQUIPO DE ADSORCIÓN	31
3.5	ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL AVANCE DE LA ZONA DE ADSORCIÓN	32
3.6	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA POROSO DE UN CARBÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS POROS SEGÚN SU TAMAÑO	36
3.7	ESTRUCTURA DE MACROPOROS Y MICROPOROS DEL CARBÓN ACTIVADO	37
3.8	VISTA MICROSCÓPICA DE MICROPOROS DE CARBÓN ACTIVADO	37
3.9	COCO ALTO DEL PACÍFICO	42
3.10	COCO ENANO MALASINO	43
3.11	TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO Y PRODUCTOS DE CARBÓN	44
3.12	CARBÓN GRANULAR COMERCIAL	44
3.13	CARBÓN PULVERIZADO COMERCIAL	46
3.14	SISTEMA PARA CARBÓN PULVERIZADO	46
3.15	SISTEMA PARA CARBÓN PULVERIZADO DE DOBLE CONTACTO A	

	CONTRACORRIENTE	47
3.16	ESTRUCTURA CRISTALINA DEL CARBÓN ACTIVADO	51
3.17	PROCESO DE ACTIVACIÓN TÉRMICA	52
3.18	PROCESO DE ACTIVACIÓN QUÍMICA	52 xii
3.19	PERLITA CRUDA	57
4.1	TANQUE DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	62
4.2	SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD EL MANGO	62
4.3	RECIPIENTE COLECTOR DE AGUA LLUVIA	64
4.4	EQUIPO DE MUESTREO DE AGUA LLUVIA	64
5.1	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA	70
5.2	BOMBA DE EXTRACCIÓN DE AGUA COMUNIDAD MELARA	71
7.1	MUFLA UTILIZADA PARA PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO CON EL COCO TIERNO Y MADURO	79
7.2	ACTIVACIÓN DE CARBÓN ARTESANAL A NIVEL DE LABORATORIO	85
7.3	SECADO AL AMBIENTE DEL CARBÓN ARTESANAL DESPUÉS DE LA ACTIVACIÓN	86
7.4	(A) PESADO DE LEÑA PARA EL HORNO ARTESANAL (B) CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA ELABORAR EL CARBÓN ARTESANAL	91
7.5	(A): PESADO DE CONCHA DE COCO PARA LA CARBONIZACIÓN; (B): CONCHA DE COCO SOBRE LAS BANDEJAS ANTES DE LA INTRODUCCIÓN AL HORNO PARA SU CARBONIZACIÓN.	92
7.6	INTRODUCCIÓN DE BANDEJAS CON LA CONCHA DE COCO PARA LA CARBONIZACIÓN	93
7.7	MONITOREO DE TEMPERATURAS DE HORNO ARTESANAL	93
7.8	CARBONIZACIÓN DE LAS CONCHAS DE COCO	96
7.9	CARBON RECIÉN OBTENIDO, ANTES DE SU COLOCACIÓN EN CANASTAS PARA SECADO AL AMBIENTE	97
7.10	DON ISABEL VALENCIA DE LA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR COLABORANDO EN EL PROCESO DE CARBONIZACIÓN	97
7.11	COLOCACIÓN DEL CARBÓN EN OLLAS DE ALUMINIO	98
7.12	ACTIVACIÓN ARTESANAL DE CARBÓN DE COCO	98
8.1	PERLITA EN SU ESTADO NATURAL	99
8.2	PROCESO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA PERLITA	99
8.3	CALCINACIÓN DE LA PERLITA	100

8.4	(A) MONITOREO DE TEMPERATURA DE HORNO DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS; (B) TERMÓMETRO DIGITAL PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA HASTA 1200° C	101
8.5	PERLITA ANTES DE LA CALCINACIÓN	102
8.6	PERLITA CALCINADA ENFRÍÁNDOSE	102
8.7	(A) TAMIZADO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL,(B) TAMIZADO DE PERLITA	103
8.8	PESADO DE MATERIAL ADSORBENTE	105
8.9	MATERIAL ADSORBENTE DENTRO DE LA COLUMNA	105
8.10	ANILLO SUJETADOR DENTRO DE LA COLUMNA	106
8.11	COLUMNA DE ADSORCIÓN YA PREPARADA	106
8.12	SISTEMA DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN	107
8.13	(A) LAVADO DE PERLITA Y PIEDRA VOLCÁNICA; (B) LAVADO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	107
8.14	ARRASTRE DE ARENA A TRAVÉS DEL EFLUENTE DE COLUMNA	108
8.15	TANQUES CALIBRADOS	109
8.16	COLUMNAS CON CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	111
9.1	SECADO DE LA MUESTRA DE PERLITA EN LA ESTUFA	114
9.2	SOLUCIONES ORIGINALES Y DILUIDAS DE AZUL DE METILENO	114
9.3	SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO EN AGITACIÓN EL HOT PLATE	114
9.4	ESPECTROFOTÓMETRO ESPECTRONIC 20.	115
13.1	PROCESO DE REGENERACIÓN DEL CARBÓN ARTESANAL	174
13.2	REGENERACIÓN DE PERLITA	175
13.3	PROCESO DE DISPOSICIÓN FINAL DE ADSORBENTES AGOTADOS	175

INDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL SALVADOR	4
1.2	LISTA DE PLAGUICIDAS PROHIBIDOS EN EL SALVADOR	5
1.3	PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE 2003	11
3.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN	26
3.2	PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE DISTINTOS PRECURSORES	39
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS GRUPOS DE COCOTEROS PRESENTES EN EL SALVADOR	43
3.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CARBÓN ACTIVADO GRANULAR Y CARBÓN ACTIVADO PULVERIZADO	48
3.5	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PERLITA EXPANDIDA	57
3.6	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PIEDRA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN QUEZALTEPEQ Y SAN MIGUEL	59
4.1	DISTRIBUCIÓN DE LOS RECIPIENTES DE MUESTREO EN COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	65
4.2	DISTRIBUCIÓN DE LOS RECIPIENTES COLECTORES EN COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	66
4.3	DISTRIBUCIÓN DE LOS RECIPIENTES DE MUESTREO EN COMUNIDAD EL MANGO	67
4.4	DISTRIBUCIÓN DE LOS RECIPIENTES COLECTORES EN COMUNIDAD EL MANGO	68
5.1	DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN COMUNIDAD BOCAPOZA Y MELARA	72
7.1	PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN REALIZADAS EN COCO MADURO Y TIERNO	78
7.2	PRUEBAS DE CARBONIZACIÓN DE COCO MADURO ALTO Y ENANO	80
7.3	PRUEBA PARA DETERMINAR TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACIÓN	82
7.4	CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE MELARA	88
7.5	CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE SAN LUIS EL COYOLAR	88
7.6	CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE METAPÁN	89
7.7	RESULTADOS DE CARBONIZACIONES EN LOS DIFERENTES HORNOS ARTESANALES	89
8.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS DE ADSORCIÓN	104

8.2	VOLUMEN DE AGUA DESMINERALIZADA UTILIZADA PARA LAVADO DE MATERIALES ADSORBENTE	108
8.3	CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE PERLITA EXPANDIDA	108
8.4	CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA	110
8.5	CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	110
8.6	CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL	111
9.1	PRIMER ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO	116
9.2	SEGUNDO ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO.	116
9.3	TERCER ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO	116
9.4	LECTURA DE TRANSMITANCIA PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL DE METILENO	117
9.5	CONCENTRACIÓN FINAL DE AZUL DE METILENO PARA LA PRUEBA DE SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA	118
9.6	DATOS DE ADSORCIÓN DEL AZUL DE METILENO EN PERLITA	118
9.7	DATOS DE LA ISOTERMA BET PARA EL AZUL DE METILENO (PERLITA)	119
9.8	PRUEBA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO.	120
9.9	LECTURA DE TRANSMITANCIA PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL DE METILENO	121
9.10	CONCENTRACIÓN FINAL DE AZUL DE METILENO PARA LA PRUEBA DE SUPERFICIE ESPECÍFICA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	122
9.11	DATOS DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	122
9.12	DATOS DE LA ISOTERMA BET PARA EL AZUL DE METILENO (CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL)	123
9.13	SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA Y CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	124
10.1	FRECUENCIA DE ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN MUESTRAS DE AGUA	125
10.2	RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO	126
10.3	RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO	126

10.4	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA	127
10.5	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS DE ALTO RIESGO EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO	128
10.6	PARÁMETROS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ANALIZADOS EN MUESTRAS DE AGUA COMUNIDAD BOCAPOZA Y MELARA	128
10.7	RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: PRECIPITACIÓN EN COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y PUNTO 2)	129
10.8	RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y 2)	129
10.9	RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: TEMPERATURA DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y PUNTO 2)	129
11.1	CONCENTRACIÓN DE BORO (mg/L)	132
12.1	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA	140
12.2:	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA	142
12.3	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	144
12.4	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD EL MANGO	146
12.5	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA	148
12.6	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA	150
12.7	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	151
12.8	OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD EL MANGO	153
12.9	DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN PARA EL LECHO DE PERLITA EXPANDIDA	153
12.10	DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN	

PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	154
12.11 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA E.	154
12.12 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA E.	156
12.13 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL+ PERLITA EXPANDIDA	158
12.14 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E.	160
12.15 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL+ PERLITA EXPANDIDA	162
12.16 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL+ PERLITA EXPANDIDA	164
12.17 RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE PERLITA EXPANDIDA EN LA COMUNIDAD MELARA	166
12.18 RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE PERLITA Y CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA EN LA COMUNIDAD MELARA	166
12.19 DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	167
12.20 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA E.	167
12.21 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL+ PERLITA EXPANDIDA	169
12.22 DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA	171
12.23 RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA Y DE PERLITA E. EN LA COMUNIDAD BOCAPOZA	173

INDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
7.1	RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN REALIZADAS EN COCO MADURO Y TIERNO	79
7.2	RENDIMIENTO DE COCO MADURO Y TIERNO EN PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN	80
7.3	RESULTADOS DE PRUEBAS DE CARBONIZACION DE COCO MADURO ALTO Y ENANO	81
7.4	RENDIMIENTO OBTENIDO EN PRUEBAS DE CARBONIZACIÓN DE COCO MADURO Y TIERNO	81
7.5	MUESTRAS DE CONCHA DE COCO PARA PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACION	83
7.6	RESULTADOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACIÓN	83
7.7	RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN EN PRUEBA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA	84
7.8	PESO DE CARBÓN SOMETIDO A PROCESO DE ACTIVACIÓN	86
7.9	PESO DE CARBÓN ACTIVADO	87
7.10	PORCENTAJE EN PESO PERDIDO EN LA ACTIVACIÓN DEL CARBÓN	87
7.11	RELACIÓN DE PESO LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE HORNO MELARA	94
7.12	RELACIÓN DE PESO DE LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE HORNO EN SAN LUIS EL COYOLAR	95
7.13	RELACIÓN DE PESO DE LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO EN HORNO DE METAPÁN	95
9.1	CURVA DE CALIBRACIÓN PARA AZUL DE METILENO (PERLITA E.)	117
9.2	ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN PERLITA.	118
9.3	ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO: (a) NO LINEALIZADA; (b) LINEALIZADA.	119
9.4	CURVA DE CALIBRACIÓN PARA AZUL DE METILENO (CARBÓN ACT. A.)	121
9.5	ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	122
9.6	ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL: (a) NO LINEALIZADA; (B) LINEALIZADA	123
11.1	CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) COMUNIDAD BOCAPOZA	130
11.2	CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) COMUNIDAD BOCAPOZA	131

11.3	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) COMUNIDAD BOCAPOZA	131
11.4	CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) COMUNIDAD BOCAPOZA	131
11.5	CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) COMUNIDAD MELARA	132
11.6	CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) COMUNIDAD MELARA	133
11.7	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) COMUNIDAD MELARA	133
11.8	CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) COMUNIDAD MELARA	133
11.9	CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) COMUNIDAD EL MANGO	134
11.10	CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) COMUNIDAD EL MANGO	134
11.11	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) COMUNIDAD EL MANGO	135
11.12	CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) COMUNIDAD EL MANGO	135
11.13	CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	136
11.14	CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	136
11.15	CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	137
11.16	CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	137
12.1	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS PARA COMUNIDAD BOCAPOZA	139
12.2	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS PARA COMUNIDAD BOCAPOZA	139
12.3	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA PARA COMUNIDAD BOCAPOZA	139
12.4	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS PARA COMUNIDAD BOCAPOZA	140
12.5	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS COMUNIDAD MELARA	141
12.6	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS PARA COMUNIDAD MELARA	141
12.7	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA PARA COMUNIDAD MELARA	141
12.8	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS PARA COMUNIDAD MELARA	142
12.9	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS PARA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	143
12.10	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA PARA COMUNIDAD	

SAN LUIS EL COYOLAR	143
12.11 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS PARA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	143
12.12 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS PARA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	144
12.13 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS COMUNIDAD EL MANGO	145
12.14 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA COMUNIDAD EL MANGO	145
12.14 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS PARA COMUNIDAD EL MANGO	145
12.16 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS PARA COMUNIDAD EL MANGO	146
12.17 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E.	147
12.18 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	147
12.19 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. COMERCIAL + PERLITA E.	148
12.20 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E	
12.21 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	149
12.22 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. COMERCIAL + PERLITA E.	150
12.23 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E.	151
12.24 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA	151
12.25 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA EXPANDIDA	152
12.26 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA	152
12.27 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	155
12.28 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	155
12.29 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	156
12.30 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN	

DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA	157
12.31 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA.	157
12.32 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA.	157
12.33 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	158
12.34 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	159
12.35 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	159
12.36 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E.	160
12.37 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E.	161
12.38 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E.	161
12.39 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	162
12.40 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	163
12.41 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS LECHO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	163
12.42 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	164
12.43 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.	165
12.44 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS LECHO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	165
12.45 ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	168
12.46 CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	168
12.47 ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA.	169

12.48	ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL +PERLITA EXPANDIDA.	170
12.49	CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA	170
12.50	ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA.	171
12.51	CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA	172
12.52	ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA.	172
12.53	ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA.	173
13.1	REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	176
13.2	PORCENTAJE DE REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL	177
13.3	REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA	177
13.4	PORCENTAJE DE REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA	178

INTRODUCCIÓN

Las comunidades rurales en El Salvador, presentan dos grandes problemas: la escasez y la contaminación del agua, ya sea porque no cuentan con fuentes de agua o porque las existentes se encuentran contaminadas con diversas sustancias que inciden directamente en la salud de la población.

Se necesita poseer una base con resultados confiables para informar a la población rural de la posibilidad de consumo humano de agua lluvia, ya que se muestran un tanto escépticos de esa ventaja que tiene el agua lluvia.

La colaboración de las personas de las comunidades es un factor muy determinante para realizar la investigación de manera más eficiente.

La investigación a realizar consiste en caracterizar el agua de pozos y agua lluvia en comunidades rurales ubicadas al sur del departamento de La Libertad para luego realizar análisis a nivel de planta piloto, utilizando columnas de adsorción con materiales adsorbentes: perlita expandida, carbón activado artesanal y piedra volcánica, los cuales deben pasar por una serie de procesos físicos para su acondicionamiento.

El carbón activado es un excelente material adsorbente ampliamente utilizado en procesos de descontaminación de agua. La perlita expandida es un material de origen volcánico, que ha sido utilizado con éxito en investigaciones anteriores para descontaminar agua para consumo humano. De igual forma la piedra volcánica ha sido utilizada en investigaciones de descontaminación y purificación de aguas.

El carbón activado artesanal se elabora a partir de concha de coco maduro de la variedad alto del pacífico en horno artesanal semicircular.

Se pretende proponer un sistema de columnas de adsorción que permita obtener el mayor porcentaje de remoción de contaminantes, hasta llevarlos dentro de los límites permisibles por la Norma Salvadoreña obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01.99.

El aspecto microbiológico, se aborda únicamente para fines de caracterización microbiológica, por lo que esta investigación puede utilizarse como base para futuros proyectos encaminados a resolver este problema de contaminación.

El método utilizado para realizar el análisis de remoción de contaminantes es el método de adsorción, el cual aprovecha la propiedad de ciertos sólidos de poseer afinidad con cierto tipo de sustancias las cuales pueden ser adsorbidas por los materiales adsorbentes.

En el campo de la descontaminación en aguas existe todavía mucho camino por recorrer, y el presente trabajo de graduación es solamente parte de una serie de investigaciones orientadas a brindar un tratamiento práctico y efectivo para descontaminar aguas de pozo y agua lluvia destinadas al consumo humano.

CAPITULO I

1.0 PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA SITUACIÓN DE LAS AGUAS EN EL SALVADOR

La problemática de la escasez y la contaminación del agua destinada al consumo humano, es un tema que cobra gran importancia en el país, debido tanto a su creciente población como a la ubicación de esta, en lugares en los cuales el acceso al líquido es limitado o inexistente.

Es por ello que es urgente contar con métodos de almacenamiento de agua que garanticen el consumo de ésta, o en el mejor de los casos, diseñar un sistema que sea capaz de remover los contaminantes presentes en las fuentes de abastecimiento, resolviendo de esta manera el problema de la falta de agua como el de enfermedades provocadas por su ingesta en condiciones no permisibles por la norma NSO 13.07.01.99 para el consumo destinada a los seres humanos.

1.1. EL AGUA

Es un compuesto formado por la combinación de hidrógeno y oxígeno y se presenta en tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

Sin embargo, pese a que se encuentra en gran cantidad, existen factores tales como la poca disponibilidad de agua dulce, que es solo el 3% del total a nivel mundial (53).

1.1.1. CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA

Como todo proceso el agua consta de un ciclo, el cual es conocido como ciclo hidrológico del agua (figura 1.1), el cual puede definirse como la circulación de esta a través de la atmósfera y en la tierra, en sus diferentes formas.

El ciclo hidrológico consta de tres subsistemas que son(26):

Agua atmosférica: contiene los procesos de precipitación, interceptación, evaporación y transpiración. El Salvador cuenta con una evapotranspiración del 66.67%, del destino del agua lluvia precipitada en un año, el resto se considera potencialmente utilizable(28).

Agua superficial contiene los procesos de escurrimiento, escorrentía, flujo subsuperficial, flujo subterráneo, el cual ocurre en estratos profundos o rocosos del suelo y aporte a los océanos.

Agua subsuperficial. contiene los procesos de infiltración, recarga del agua subterránea

profunda, flujo subsuperficial, el cual toma lugar en el suelo cerca de la superficie y flujo subterráneo.

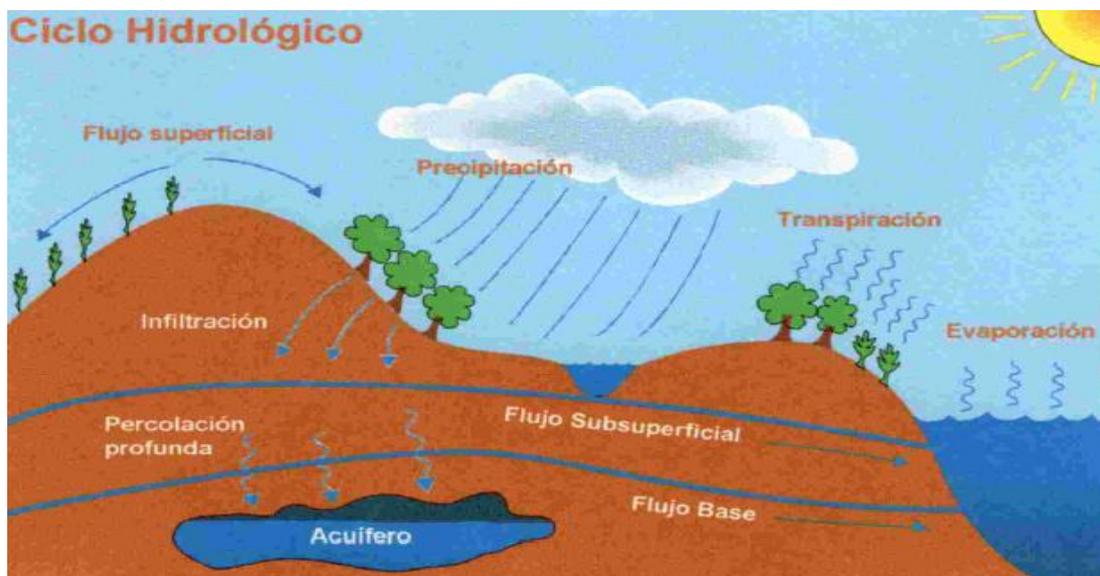


FIGURA 1.1: CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA (Fuente: PRISMA)

Agua atmosférica: Este sistema contiene los procesos de precipitación, interceptación, evaporación y transpiración. El Salvador cuenta con una evapotranspiración del 66.67%, del destino del agua lluvia precipitada en un año, el resto se considera potencialmente utilizable(28).

1.2 LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS Y SUS EFECTOS

La contaminación del agua puede ser de origen antropogénico o natural, los contaminantes al interactuar con ella, en cualquiera de las etapas de su ciclo hidrológico, afectan la biota como el biótomo con el cual interactúan, ocasionando daños que pueden conducir a la infertilidad de un terreno, deslaves, inundaciones o afectar los seres vivos ocasionándoles hasta la muerte.

1.2.1 FUENTES DE CONTAMINACION DEL AGUA

La Ley del Medio Ambiente de El Salvador, en su Art. 4, define la contaminación de la siguiente manera: La presencia o introducción al ambiente de elementos nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degraden la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general.

Existen dos fuentes de contaminación del agua(31):

Contaminación natural: Es la contaminación ocasionada por la interacción de los cuerpos de

agua con restos de seres vivos, minerales contenidos en suelos y arrastrados por escorrentía en época de lluvia y cualquier otra fuente la cual no existe intervención del hombre.

Contaminación artificial: Es la contaminación originada por la interacción de los cuerpos de agua y los vertidos proveniente de las actividades económicas y sociales realizadas por el hombre. se divide en:

- ↗ Urbana o doméstica
- ↗ Industrial
- ↗ Agroquímica

Atendiendo al modo en el que la contaminación se produce, se puede distinguir entre contaminación difusa y contaminación puntual (21):

Contaminación Puntual: Es producida por un foco emisor determinado afectando a una zona concreta, lo que permite una mejor difusión del vertido. Su detección y su control son relativamente sencillos. Un ejemplo de contaminación puntual sería el vertido de aguas residuales industriales o domésticas.

Contaminación Difusa: Su origen no está claramente definido, aparece en zonas amplias en las que coexisten múltiples focos de emisión, lo que dificulta el estudio de los contaminantes y su control individual. Pueden producirse posibles interacciones que agraven el problema. Principalmente correspondería a la contaminación natural.

1.2.1.1 CONTAMINACIÓN DOMÉSTICA

La contaminación doméstica se clasifica en: Urbanas y rurales

La contaminación de origen urbano es el resultado del uso del agua en viviendas, actividades comerciales y de servicios, lo que genera aguas residuales, que son devueltas al receptor con contenidos de residuos fecales, desechos de alimentos, y en la actualidad con un importante incremento de productos químicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc (21).

En El Salvador, la situación de la disposición de las aguas residuales domésticas como lo presenta la tabla 1.1 es desfavorable, debido a la inexistencia en muchos municipios de red de alcantarillados existiendo aún en mucha menos cantidad plantas de tratamiento para dichas aguas (46).

TABLA 1.1 SITUACION ACTUAL DE LAS AGUA RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL SALVADOR

DEPARTAMENTO	NO. DE MUNICIPIOS	EXISTENCIA DE RED DE ALCANTARILLA		TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
		SI	NO	SI	NO
Ahuchapán	12	4	8		12
Santa Ana	13	6	7		13
Sonsonete	16	10	6		16
Chalatenango	33	3	30		33
La Libertad	22	9	13	2	20
San Salvador	19	15	4		19
Cuscatlán	16	4	12		16
La Paz	22	8	14	1	21
Cabañas	9	3	6		9
San Vicente	13	4	9		13
Usulután	23	7	16		23
San Miguel	20	4	16		20
Morazán	26	2	24		26
La Unión	18	3	15		18
TOTAL	262	82	180	3	259

FUENTE: OPS-OMS, Elaborado por ANDA, 2003

En cuanto a los lugares que carecen de red de agua negras, la solución es la construcción de letrinas, los cuales luego del sismo del 13 de enero de 2001 resultaron afectadas ascendiendo a un total de 84000 en todo el país⁴.

1.2.1.2 CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL

Es la contaminación que generan las industrias como resultado de sus procesos de producción. Los elementos contenidos en las descargas, ya sea sin previo tratamiento o con uno que no sea del todo eficiente, son los que dañan la biota acuática, alterando la capacidad que tiene el medio acuático de degradar las sustancias que a él llegan. En El Salvador existe una ley especial que trata sobre la normalización de los vertidos industriales sobre los recursos hídricos y los parámetros que estas deben controlar, sin embargo la ley del medio ambiente entro en vigencia en mayo de 1998, y hasta la fecha existen artículos de ésta que aún no ha llevado un cumplimiento. Ocasionando dicha situación que hasta la fecha se considere que el 90% de las aguas superficiales con que cuenta el país posea una

⁴OPS, vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento del agua potables y saneamiento en áreas rurales de El Salvador. 2001

grave contaminación⁵.

1.2.1.3 CONTAMINACIÓN AGROINDUSTRIAL

La contaminación agroindustrial puede ser: agrícola y ganadera (21).

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales(21). La superficie con problemas de drenaje se estima en 150 000 ha, principalmente ubicadas en la franja costera.⁶

La contaminación de origen agrícola deriva, principalmente, del uso de plaguicidas, En El Salvador se encuentran prohibidos alrededor de 34. En la tabla 1.2 se presenta lista de ellos todos con un alto grado de peligrosidad (52)

TABLA 1.2 LISTA DE PLAGUICIDAS PROHIBIDOS EN EL SALVADOR

Acetato de Dinoseb	Dodecacloro	HCH	Hexacloro
Aldrina	Endrina	Heptacloro	Leptophos
Arsenicales	Fluor Acetato de Sodio	Clorofluorocarbonos	Lindano
BHC	Fosfamidon	Compuestos de Mercurio	Monocrotofos
Canfeno Clorado	Dieldrin	Damanozide	Parathion Etilico
Captafol	Dinoseb y sales	DDT	Pentaclorofenol
Chlordano	Cloranfenicol	Dibromo cloruro propano	Quintoceno
Cianuro de Sodio	Clordecon	Dibromuro de Etileno	Toxafeno
Clordimeform	Clorobencilato		

Fuente: Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES)

Existen diversos grupos de plaguicidas, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los clasifica de acuerdo a su grupo químico y ejemplo de ello son los compuestos organoclorados y organofosforados.

1.2.3 ALTERACIONES MICROBIOLÓGICAS Y FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA (21)

- ↻ Color: El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.
- ↻ Olor y sabor: Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por

⁵PRISMA, El agua límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador. 2001

diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.

- ↻ Temperatura: El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.
- ↻ Materiales en suspensión: Partículas como arcillas, limo y otras.
- ↻ Conductividad: El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C

Entre las alteraciones químicas del agua se encuentran (21):

- ↻ pH: Indica la acidez o basicidad del agua.
- ↻ Oxígeno disuelto OD: Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
- ↻ Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas
- ↻ Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO) Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico
- ↻ Nitrógeno total:
- ↻ Aniones: los cloruros, los nitratos, los nitritos, los sulfuros
- ↻ Cationes: los cationes más comúnmente encontrados son el sodio, el calcio y el magnesio.

Entre las alteraciones biológicas del agua se encuentran (21):

- ↻ Bacterias coliformes: Desechos fecales
- ↻ Virus: Desechos fecales y restos orgánicos

Animales, plantas, microorganismos diversos: Eutrofización

1.2.4 LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

A las formaciones geológicas que permiten la circulación del agua por estos poros se las denomina acuíferos. Se tiene en el subsuelo dos zonas diferenciadas: una inferior, saturada de agua y otra superior no saturada, llamada zona de aireación o vadosa. La superficie que separa la zona de aireación de la zona saturada se denomina nivel freático(49) ,(21)

Por contaminación, en Hidrogeología, se entiende la alteración de la calidad natural del agua subterránea, física, química o biológica, ya sea como consecuencia directa o indirecta de la actividad del hombre o por razones naturales, la figura 1.2 esquematiza tanto la contaminación puntual como la difusa.

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. Sucede esto porque las aguas del subsuelo tienen un ritmo de renovación muy lento y permanece años en él

La explotación incorrecta de las aguas subterráneas origina varios problemas los principales son:

- ↗ Por agotamiento del acuífero.
- ↗ Por contaminación de las aguas subterráneas.

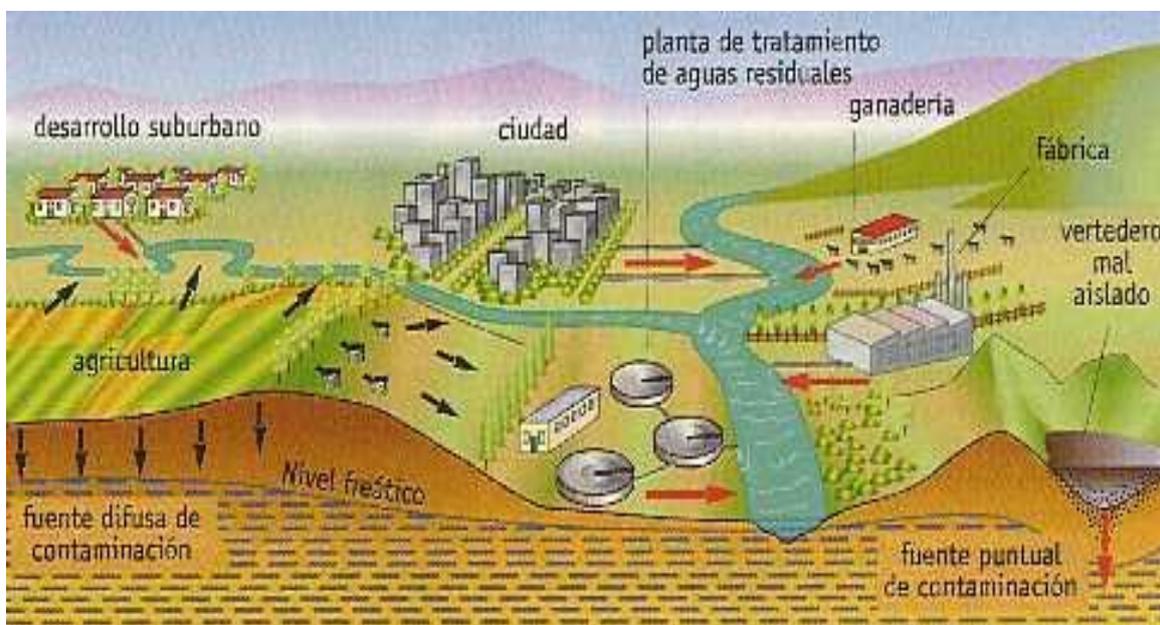


FIGURA 1.2: CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS (Fuente: Contaminación del agua)

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son (21): Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno, Lixiviados de vertederos industriales, derrumbes de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal

aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, Pozos sépticos y acumulaciones de desechos procedentes de las granjas.

La contaminación difusa suele estar provocada por (21): Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales, Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces (intrusión).

1.2.5 CONTAMINACIÓN DEL AGUA LLUVIA

Una atmósfera contaminada puede cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir el ozono, es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias.

La contaminación puede dividirse en dos grandes grupos (21):

- ⇒ Contaminantes primarios: Aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión: óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.
- ⇒ Contaminantes secundarios: Aquellos originados en el aire por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales de la atmósfera. Entre ellos destacan oxidantes fotoquímicos y algunos radicales de corta existencia como el ozono (O_3). Ambas contaminaciones son presentadas en la figura 1.3

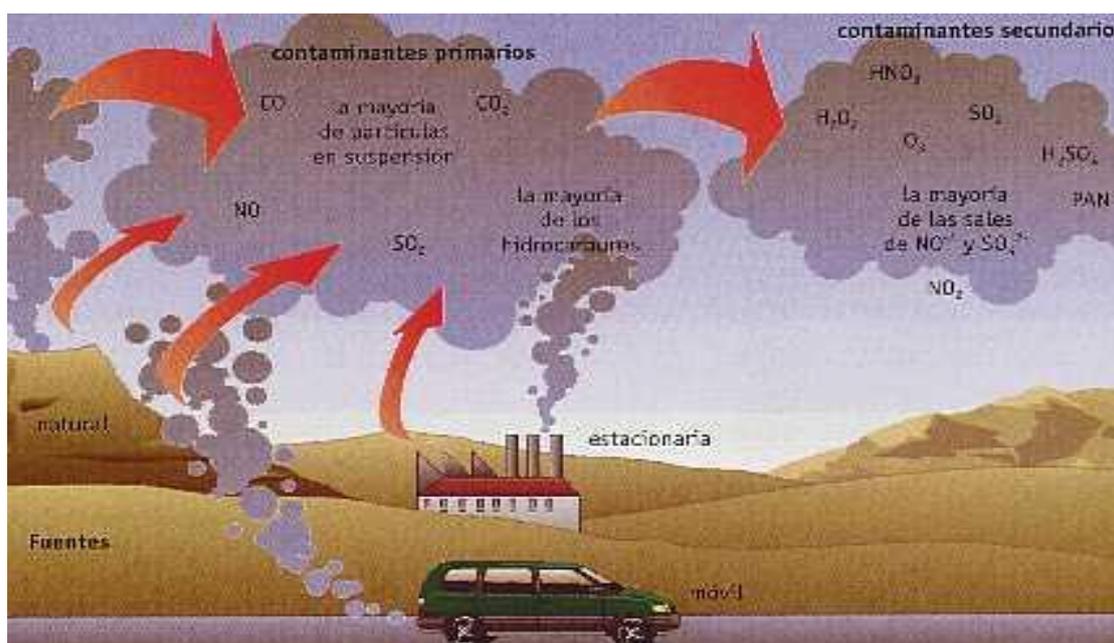


FIGURA 1.3 CONTAMINACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA (Fuente: MARN)

1.2.5.1 LA LLUVIA ÁCIDA

Existen dos tipos de lluvia ácida, la provocada por el hombre (antropogénica) y la de origen natural, causado por los gases volcánicos.

La lluvia ácida de origen antropogénica: Esta es generada básicamente por el desarrollo industrial, la quema de combustibles fósiles o por la quema de vegetación lo cual produce un gas contaminante, el cual viaja a la atmósfera ocasionándole daños irreversibles. Estos aerosoles contaminantes al hacer contacto con el vapor de agua atmosférico regresa como lluvia ácida.

La lluvia ácida de origen volcánico: Es la lluvia que posee cantidades intolerables de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) y Ácido Nítrico (HNO_3) disueltos en sus gotas de agua. Ambos ácidos se forman al reaccionar el trióxido de azufre (SO_3) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) con el agua (H_2O). De manera que la acidez del agua lluvia alcanza significativamente niveles que oscilan entre 3.5 a 5.5 con respecto al pH normal del agua que es aproximadamente 6.5, dando paso a la generación de lluvia ácida como lo esquematiza la figura 1.4

Tanto la lluvia ácida de origen volcánico como antropogénico, se origina por la secuencia de las siguientes reacciones:

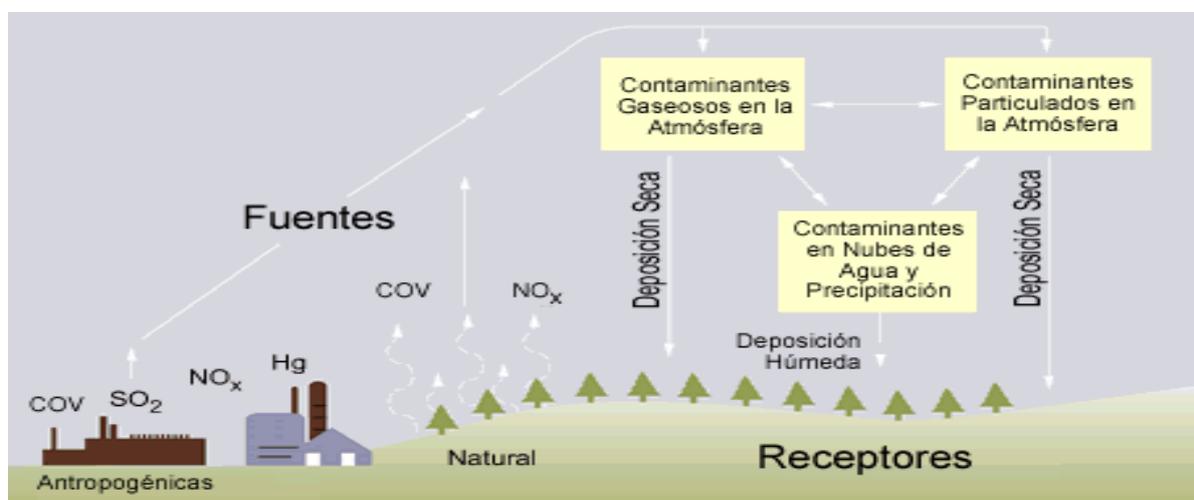
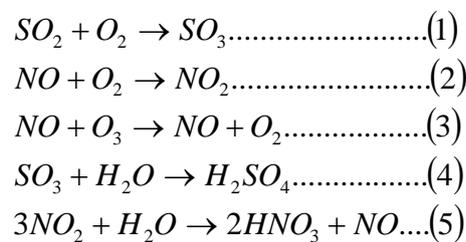


FIGURA 1.4 GENERACIÓN DE LLUVIA ÁCIDA ANTROPOGÉNICA (Fuente: MARN)

Entre los daños ocasionados por la deposición ácida en la salud de las personas se encuentran:

- a) Afecta la respiración en especial a niños/as y personas de edad avanzada con enfermedades pulmonares crónicas.
- b) Puede provocar episodios de tos y asfixia
- c) Crecientes índices de asma crónico y agudo
- d) Bronquitis aguda y enfisema
- e) Cambios en el sistema de defensa de los pulmones, lo cual se agudiza en personas con desórdenes cardiovasculares y pulmonares
- f) Irrita los ojos y los conductos respiratorios, entre otros.

LA LLUVIA ÁCIDA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)

Según Pérez Echegoyen (8), el pH promedio del agua lluvia se reportó de 5.63 (lo cual fue considerado no muy grave según (8)). Aclaran que en forma local en varios puntos del Área Metropolitana de San Salvador y alrededores, se reportaron pHs bajos, hasta 4.15, por lo que para 1991 las lluvias ácidas en San Salvador, ocasionalmente estaban precipitando.

El estudio concluye que la zona industrial de Soyapango resultó ser la de mayor acidez en la lluvia de San Salvador.(pH = 4.15).

La zona de mayor contaminación con CO₂ en el agua lluvia fue Ciudad Merliot con 3.12 mg/L (dato promedio local) y el dato promedio anual de 2.64 mg/L. También reportan que la Ciudad de Soyapango presentó el mayor contenido de nitratos con 0.697 mg/L y el valor promedio anual del AMSS de 0.57 mg/L.

1.3 ESCASEZ E INACCESABILIDAD DEL AGUA POTABLE EN ZONAS RURALES DE EL SALVADOR

En El Salvador el principal usuario de los recursos hídricos es el sector eléctrico: más del 60% de la generación eléctrica proviene de fuentes hídricas. Por otro lado, los distritos públicos de riego cubren menos de 20,000 hectáreas y los sistemas privados, cerca de 26,000 hectáreas; además, muchos sistemas de agua potable son utilizados para riego en áreas agrícolas¹.

De acuerdo a la información de Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) 2001, los usos del agua a nivel de millones de metros cúbicos se puede resumir: domiciliar y comercio, 212.6 (85.4 %); industria, 2.0 (0.8 %); gobierno central, autónomas y municipios, 15.8 (6.4 %) y explotación privada, 18.5 (7.4 %)³.

^{1,2}PRISMA, Recursos de información sobre el agua en El Salvador.1999

La cobertura de agua potable, según ANDA, es de un 62% de la población a nivel nacional. Sin embargo, en el sector rural (donde habita el 50% de la población del país), alcanza solamente un 33%². Según encuesta realizada por la Red de Agua y Saneamiento de El Salvador (RAS-ES) en el 2001, los principales fuentes de abastecimiento de agua en las comunidades rurales de El Salvador son: Acometida (39%), Acarreo (34%), Pozo domiciliar (15%), Cantarera (11%) y pozo comunal (1%)¹².

Aunado a esto se encuentra el problema de la distribución de la inversión en proyectos para distribución de agua potable. Según informe de ANDA, entre 1994-2001 las zonas urbanas excluyendo el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), cuenta con 43% del total de inversión, el AMSS con 41% y el área rural con apenas un 16%. La forma en que el agua potable es producida y distribuida en El Salvador es manejado por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados y se presenta en la tabla 1.3 (56)

TABLA 1.3: PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE - 2003

Producción de agua potable a nivel nacional en el año	335,363,029 m ³
Producción de agua potable para San Salvador:	178,395,911 m ³
Sistema Río Lempa	66,438,990 metros cúbicos
Sistema Zona Norte	32,140,473 metros cúbicos
Sistemas Tradicionales	79,816,448 metros cúbicos
Producción de agua potable para el Interior del País	156,967,117 m ³
Región Central	52,534.7 metros cúbicos
Región Occidental	60,888.4 metros cúbicos
Región Oriental	43,544.1 metros cúbicos
Pérdidas de agua potable estimadas a nivel nacional	19.8 %

Fuente: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

En cuanto a los análisis bacteriológicos correspondientes al año 2003, el 90.1% según ANDA, se encontraron dentro de la normativa mientras que de los físico-químicos el 69.1% se encontraron dentro de la norma establecida.

1.3.1 ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES

Tecnologías aplicadas para el abastecimiento de agua potable en zonas rurales de El Salvador son (64):

- ⇒ Pozos excavados a mano En las zonas del país donde la profundidad del nivel freático lo permite, El agua se extrae mediante un balde atado a un lazo. Muchas

veces la protección sanitaria del pozo es muy precaria o inexistente.

- ↗ Captación de aguas lluvias Solución utilizada ampliamente en las comunidades asentadas en volcanes y cerros y en sitios con dificultad de abastecimiento.
- ↗ Acueducto sistema múltiple Solución bastante frecuente para abastecer de una sola fuente a varias comunidades rurales.

Entre las alternativas de saneamiento rural se tienen: Letrina de hoyo seco , de foso modificada y letrina abonera

1.3.1.1 CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO

Uno de los objetivos principales de captación de agua lluvia en El Salvador, es el abastecimiento de agua a la zona rural, puesto que entre los factores que dificultan su obtención se encuentran (37):

- ↗ Fuente alejada de la vivienda
- ↗ Inseguridad personal y riesgo por maleantes
- ↗ Caminos accidentados hacia la fuente el tiempo dedicado al transporte de agua (que no es remunerado) minimiza su participación en actividades productivas y/o remuneradas.
- ↗ En el caso de las niñas, el tiempo dedicado al acarreo de agua repercute en la asistencia a clases escolares; y en general poco rendimiento de la actividad.

En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos mostrado en la Fig. 1.5)

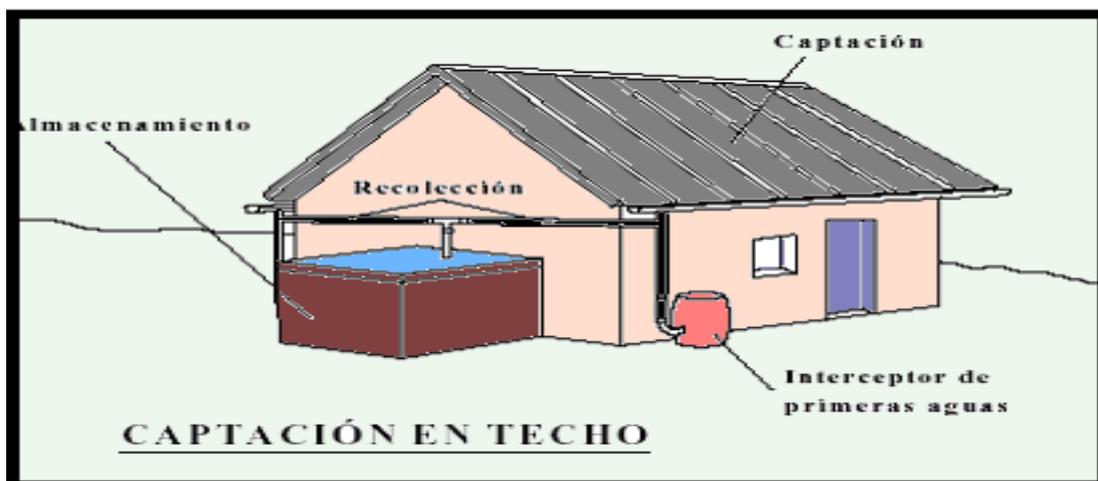


FIGURA 1.5: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS
(Fuente: CEPIS)

Como todo sistema que tiene como finalidad el aprovechamiento de un recurso natural, el SCAPT, tiene ventajas y desventajas.

Entre las ventajas el SCAPT se tienen:

- ↻ Alta calidad físico química del agua de lluvia
- ↻ Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas
- ↻ Empleo de mano de obra y/o materiales locales
- ↻ No requiere energía para la operación del sistema
- ↻ Fácil de mantener, comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes:

- ↻ Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos y
- ↻ La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

ETAPAS EN LA CAPTACION DE AGUA LLUVIA

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos (37):

- ↻ Captación. La captación está conformado por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección
- ↻ Recolección y Conducción.
- ↻ Interceptor.
- ↻ Almacenamiento.

1.4 REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA DESTINADA PARA CONSUMO HUMANO

Cuando el agua lluvia es captada con fines de consumo humano, esta es almacenada en

tanques de captación, fabricados de diversos materiales, en el cual el líquido puede permanecer hasta por meses, por lo que se puede generar contaminación de el recipiente hacia su contenido, además si se tiene en cuenta el fenómeno de la lluvia ácida, el problema de la contaminación del agua se ve incrementado.

Una vez analizados los contaminantes anteriores y lo que representa su existencia en el agua, se hace necesario poder contar con métodos para que los parámetros ya sea físicos, químicos y biológicos sean minimizados, hasta valores aceptados por las normas para agua potable.

Para la eliminación de los parámetros físicos y químicos del agua lluvia Benítez et al (3) ensayó una serie de columnas de adsorción con diferentes materiales adsorbentes y diferentes mallas tales como:

- ↗ Columna de perlita expandida malla 20 US
- ↗ Columna de Perlita expandida malla 30 US
- ↗ Columna de arena de río malla 30 US
- ↗ Columna de piedra volcánica calcinada malla 20 US
- ↗ Columna de piedra volcánica sin calcinar malla 20 US
- ↗ Arena de río malla 20 US y carbón activado.

El comportamiento que muestra cada una de los materiales con respecto a parámetros como los son pH, conductividad, nitratos, sulfatos, cloruros y dureza puede ser visto en la en el anexo 1.

Para el tratamiento biológico del agua lluvia se pueden contar con los siguientes métodos:

- ↗ Ebullición
- ↗ Tratamiento químico: Lejía, tabletas de cloro, hipoclorito de calcio granular, tinturas de yodo y tabletas de yodo.

CAPITULO II

2.0 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las comunidades que son incluidas en el estudio pertenecen al departamento de La Libertad, el cual esta ubicado en la Zona Central de la República de El Salvador. Está compuesto por 22 municipios, siendo su cabecera y Principal ciudad Nueva San Salvador mejor conocida como Santa Tecla. Tiene una Extensión territorial de 1,652.88 kilómetros cuadrados y una población aproximadamente de 445,000 habitantes.

El departamento es atravesado de Oeste a Este por la Sierra La Libertad – San Salvador – San Vicente, que forma parte de la Cadena Costera; dicha elevación divide el territorio en dos, la parte norte, que es una porción de la cuenca del río Lempa y la parte sur, que conforma una vertiente que desagua en el Océano Pacífico desembocando en Él, el río Chilama entre otros.

Las comunidades en estudio son en total cuatro mencionadas a continuación:

- ↗ Comunidad Bocapoza
- ↗ Comunidad Melara
- ↗ Comunidad El Mango
- ↗ Comunidad El Coyolar

2.1 COMUNIDAD BOCAPOZA

2.1.1 GENERALIDADES DE LA ZONA

La comunidad Bocapoza fue establecida en el año de 1962, con familias procedentes de La Paz y de la misma zona, se establecieron en el lugar, con el objeto de trabajar como colonos en los cultivos de algodón.

La comunidad Bocapoza está ubicada en el Cantón Cangrejera, el cual pertenece al Municipio de La Libertada, en el Departamento de la Libertada, cuenta con 31 familias con un total de 147 habitantes.

2.1.1.1 VEGETACION

el estado de deforestación en la zona es catalogada como alta. Siendo el tipo de vegetación perteneciente a Sistemas productivos. EL uso del uso es de tipo agropecuario.

2.1.1.2 CLIMA

La precipitación por año varía aproximadamente desde 1400 mm. hasta más de 2000 mm, con régimen monzónico y temperatura de 30°C.

2.1.1.3 ASPECTO FÍSICO

La comunidad cuenta con tres tipos distintos de microclimas englobados en una sola zona de vida que es el bosque húmedo-subtropical. Las distintas zonas por la cuales está rodeada la comunidad Bocapoza son se observan en la figura 2.1 y se dividen en:

- ↗ Zona agrícola, la cual se encuentra a la entrada de la comunidad, propiedad privada, en el cual se observa predominantemente el cultivo de caña.
- ↗ Zona de Bosque original: Rodeado por árboles grandes, esta zona comprende únicamente una pequeña extensión, y se encuentra entre las plantaciones de caña de azúcar y la comunidad Bocapoza.
- ↗ Playa Bocapoza: Se encuentra adyacente a la comunidad y es por ello que el suelo arenoso es el predominante en los lotes de las viviendas.



FIGURA 2.1 ASPECTO FISICO DE COMUNIDAD BOCAPOZA. Fuente: Propia

2.1.1.4 VIVIENDA

Las viviendas de la comunidad son construidas de hojas de palmera y por materiales de bajo costo como plástico y lámina mostrados en la figura 2.2. Todas las familias del lugar viven en arrendamiento.



FIGURA 2.2 VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD BOCAPOZA (Fuente: Propia)

2.1.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

La organización de la comunidad Bocapoza cuenta con las siguientes características:

- ↪ Año de fundación de la junta: Febrero del 2005
- ↪ Número de personas que componen la junta: 11 personas (9 hombre y 2 mujeres)
- ↪ Existe cooperativa de producción. La cooperativa de producción “La Bocapoza”, se formó en el 1986 y tiene un total de 16 personas que las componen, algunos de los cuales no son miembros de la comunidad.

2.1.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La totalidad de las familias de la comunidad tiene como principal fuente de ingresos la actividad agropecuaria, y de forma más específica, el cultivo de maíz y de algunas hortalizas. Las tierras de cultivo no están registradas a nombre de los propietarios por tratarse de terrenos de propiedad estatal (bosque salado). La superficie de cultivo media es de unas 15 mz en total, 1,5 de las cuales se dedican al cultivo de hortalizas (tomates, chiles y pipianes por lo general). También hay familias que se dedican a la corta de la caña durante los tres meses en que se realiza dicho trabajo, ya que la comunidad está rodeada de cañares.

2.1.3 SERVICIOS

Entre los servicios con que cuenta la comunidad se encuentran:

- ↪ Infraestructura Vial.
- ↪ Equipamiento parcial de la zona: La comunidad cuenta con casa comunal, iglesia y una pequeña cancha de fútbol. No cuenta con escuela por lo que los niños y jóvenes deben recorrer alrededor de 1 km hacia el lugar más cercano.
- ↪ Electrificación parcial de la zona: No toda la comunidad cuenta con energía eléctrica, por lo que número de familias beneficiadas es de 21, con una cuota mensual de \$0.11-\$3.43

Entre los servicios básicos de los cuales carecen las personas de la comunidad se encuentran:

- ↪ Infraestructura de agua.
- ↪ Infraestructura de saneamiento: En la comunidad no se dispone de sistema de evacuación de aguas grises y letrina. La basura acostumbran a trasladarla a otro lugar, o bien se entierran, aunque en verano es más frecuente el quemarlas.

2.1.4 ASISTENCIA SANITARIA.

La asistencia sanitaria es proporcionada a la comunidad por medio de un promotor de salud, con frecuencia de visitas de 2 veces/mes. El tiempo medio desde la comunidad hasta la unidad de salud que corresponde a la zona es de 90 min. Y el tipo de enfermedades que se registran más comúnmente son gripe y diarreas.

2.2 COMUNIDAD MELARA

2.2.1 GENERALIDADES DE LA ZONA

Población originaria de otros lugares que se estableció en el lugar con el objeto de trabajar en el cultivo de algodón, a finales de los años 60. El Cantón Melara pertenece al Municipio de La Libertada, en el Departamento de la Libertada, cuenta con 537 familias con una población de alrededor de 8000 a 10000 habitantes.

2.2.1.1 VEGETACION

Lamentablemente casi el área total de la Zona de Vida húmedo Subtropical ha sido alterada consecuentemente con la desaparición de bosques naturales, por lo cual el estado de deforestación en la zona es catalogada alta.

2.2.1.2 CLIMA

La precipitación por año varía aproximadamente desde 1400 mm. hasta más de 2000 mm, con régimen monzónico y temperatura de 30°C.

2.2.1.3 ASPECTO FÍSICO

Es un área semiurbana, puesto que parte de la comunidad cuenta con caminos de tierra y la otra parte con calles adoquinadas como se observa en la figura 2.3



FIGURA 2.3 ASPECTO FISICO DE COMUNIDAD MELARA (Fuente: Propia)

2.2.1.4 VIVIENDA

El 95% de las familias es propietario del lote de tierra en el que habitan, sólo el 5% restante

no lo posee. Los tipos de vivienda predominante en la comunidad son de ladrillo, correspondiendo un total del 75%, mientras que un 20% posee vivienda construida de adobe y el 5% posee construcciones de otro tipo lo cual puede observarse en la figura 2.4



FIGURA 2.4 VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD MELARA (Fuente: Propia)

2.2.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

La organización de la comunidad Melara cuenta con las siguientes características:

- ↻ Año de fundación de la junta directiva de la comunidad: 2003
- ↻ Número de personas que componen la junta: 11 personas (9 hombre y 2 mujeres)
- ↻ Existe cooperativa de producción. La cooperativa de producción se fundó en 1980 y cuenta con 90 socios.

2.2.2. ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Las actividades económicas se pueden dividir en tres grupos:

- ↻ Agropecuarias: cultivos de maíz y frijol, principalmente
- ↻ Comercialización de productos: como venta de mariscos, ropa y productos de canasta básica.
- ↻ Parte de la comunidad trabajan como empleados en diversos negocios del Puerto de La Libertad.

2.2.3 SERVICIOS

Entre los servicios con que cuenta la comunidad se encuentran:

- ↻ Infraestructura Vial
- ↻ Equipamiento parcial de la zona: La comunidad cuenta con casa comunal, iglesia y una pequeña cancha de fútbol. Además cuenta con escuela e Instituto de bachillerato.

↗ Electrificación: La comunidad cuenta con electrificación total, con una cuota de \$6.86 mensual.

↗ Sistema de abastecimiento de agua domiciliar

2.2.4 ASISTENCIA SANITARIA.

La asistencia sanitaria es proporcionada a la comunidad por medio de un promotor de salud, que se encuentra de manera permanente en la guardería de la comunidad, siendo dicha ayuda dirigida únicamente a los niños a través del programa de escuela saludable. El tiempo medio desde la comunidad hasta la unidad de salud que corresponde a la zona es de 25 min. Y el tipo de enfermedades que se registran más comúnmente son gripe, diarreas y padecimientos en los riñones.

2.2.6 SANEAMIENTO

En la comunidad no se dispone de sistema de evacuación de aguas grises, sin embargo las viviendas cuentan con letrina.

La basura se entierra, se quema o se deja en un sector aislado del lote.

2.3 COMUNIDAD EL MANGO

2.3.1 GENERALIDADES DE LA ZONA

La comunidad El Mango se encuentra ubicada en el cantón Los Pajales, que pertenece al municipio de Santa Tecla, en el departamento de La Libertad

La comunidad de El Mango se encuentra muy mal comunicada por una calle intransitable en invierno con el Puerto de La Libertad. Se contabiliza un total de 17 familias, con una media de 8 habitantes por familia. El establecimiento de la comunidad es reciente aproximadamente del año 1998.

2.3.1.1 VEGETACION

Lamentablemente casi el área total de la Zona de Vida húmedo Subtropical ha sido alterada consecuentemente con la desaparición de bosques naturales, por lo cual el estado de deforestación en la zona es catalogado como alto.

2.3.1.2 CLIMA

La precipitación por año varía aproximadamente desde 1400 mm. hasta más de 2000 mm, con régimen monzónico y temperatura de 30°C.

2.3.1.3 ASPECTO FÍSICO

Es un área rural, que cuenta con caminos de tierra únicamente como lo muestra la figura 2.5



FIGURA 2.5 ASPECTO FÍSICO DE COMUNIDAD EL MANGO (Fuente: Propia)

2.3.1.4 VIVIENDA

El 83% son propietarios del lote de tierra en la que se encuentra su vivienda. El tipo de vivienda predominante es la construida con la técnica del ferrocemento y representa un 57%, mientras que el 43% restante son de adobe, ladrillo y otros materiales presentado en la figura 2.6



FIGURA 2.6 VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD EL MANGO (Fuente: Propia)

2.3.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

La comunidad El Mango no cuenta con junta directiva, si embargo si existe cooperativa de producción.

2.3.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La economía es eminentemente agrícola, centrada en el cultivo de granos básicos (maíz, maicillo, frijol, etc.). Su dieta, a causa de la agricultura de subsistencia practicada, se centra exclusivamente en el maíz, el frijol y el arroz. Otras fuentes de ingresos minoritarios son el trabajo en la construcción y en el comercio (venta de comestibles de primera necesidad).

2.3.3 SERVICIOS

Entre los servicios con que cuenta la comunidad se encuentran:

- Infraestructura Vial. Desde el Puerto de la Libertad por camino transitable sólo en

verano. En invierno hay problemas para transitar, resbaladiza y con grietas

↗ Equipamiento parcial de la zona: La comunidad cuenta con casa comunal, iglesia y una pequeña cancha de fútbol.

Entre los servicios de los carece la comunidad se encuentran: Electricidad, Sistema de distribución de agua potable y Saneamiento, sin embargo las viviendas cuentan con letrinas. La basura se entierra, se quema o se deja en un sector aislado del lote.

2.3.4 ASISTENCIA SANITARIA.

El tipo de asistencia sanitaria es proporcionada a través de un promotor de salud, que visita la zona mensualmente. Las enfermedades comunes en la comunidad son diarrea, gripe y enfermedades respiratorias.

2.3.5 COMENTARIOS SOBRE SERVICIOS

Los habitantes en caso de enfermedad tardan 2 horas y media hasta la unidad de salud del Puerto de La Libertad. No tienen transporte para llegar y volver y el enfermo debe hacer el recorrido a pie. En otro caso tardan 1 hora a la Clínica Comunal que hay en los Pajales Centro, aunque no siempre está el médico.

Los niños asisten a la escuela de Pajales Centro a 3 km aproximadamente.

2.4 COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

2.4.1 GENERALIDADES DE LA ZONA

La comunidad San Luis El Coyolar está ubicada en el cantón El Cimarrón, en el municipio de La Libertad, departamento de La Libertad. Dicha comunidad fue fundada en 1993, con personas procedentes de cercanías de la zona e incluso procedentes de otros lugares del país. Actualmente cuenta con 65 familias.

2.4.1.1 VEGETACION

Lamentablemente casi el área total de la Zona de Vida húmedo Subtropical ha sido alterada consecuentemente con la desaparición de bosques naturales, por lo cual el estado de deforestación en la zona es catalogado como alto. El tipo de vegetación predominante en la zona es arbustiva, sin embargo se observan especies de árboles como: tamarindo, madre cacao, conacaste blanco entre otros. El uso del uso es agropecuario.

2.4.1.2 CLIMA

La precipitación por año varía aproximadamente desde 1400 mm. hasta más de 2000 mm, con régimen monzónico y temperatura de 30°C.

2.4.1.3 ASPECTO FÍSICO

La comunidad cuenta con zona de vida que es el bosque húmedo-subtropical. La comunidad se distribuye a lo largo de una única calle, de unos 2 km de longitud, por lo que el núcleo poblacional se considera disperso. Es un área rural, que cuenta con caminos de tierra únicamente como lo presenta la figura 2.7



FIGURA 2.7: ASPECTO FÍSICO DE COMUNIDAD EL COYOLAR (Fuente: Propia)

2.4.1.4 VIVIENDA

El 58% de las familias no es propietaria del lote donde viven, el 76% posee viviendas de ladrillo, mientras que el 24% es de adobe, mostrado en la figura 2.8



FIGURA 2.8 VIVIENDAS TÍPICAS DE COMUNIDAD EL COYOLAR (Fuente: Propia)

2.4.1.5 ORGANIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

La comunidad cuenta con junta directiva con las siguientes características:

- ↗ Año de fundación de la junta directiva: 2004
- ↗ Numero de personas que integran la junta: 11
- ↗ Números de mujeres en la junta directiva: 2

2.4.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La totalidad de las familias de El Coyolar tiene como principal fuente de ingresos el cultivo de granos básicos y de hortalizas en algunos casos. De estas, la mayoría alquilan 1 mz, aunque también hay colonos. Sin embargo existen otras actividades como los apiarios.

2.4.3 SERVICIOS

Entre los servicios con que cuenta la comunidad se encuentran:

- a) Infraestructura Viaria.
- b) Equipamiento parcial de la zona: La comunidad cuenta con escuela hasta 6º grado, iglesia y una pequeña cancha de fútbol.
- c) Sistema de abastecimiento de agua potable
- d) Electricidad

Sin embargo la comunidad carece de servicio de aguas servidas sin embargo poseen letrinas

2.4.4 ASISTENCIA SANITARIA.

El tipo de asistencia sanitaria es proporcionada a través de un promotor de salud, que visita la zona mensualmente. Las enfermedades comunes en la comunidad son diarrea, gripe, neumonía y dolor de cabeza.

Los habitantes tardan 90 minutos hasta la unidad de salud más cercana.

CAPITULO III

3.0 PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

La contaminación del agua de pozo y del agua lluvia es un problema que puede ser atacado desde el punto de vista de la ingeniería química a través de la operación unitaria conocida como Adsorción, en la cual se utilizan diversos materiales que son capaces de retener los contaminantes químicos presentes en el agua, disminuyendo su concentración hasta límites permisibles para consumo humano (7).

3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN

Las operaciones de transferencia de masa sólido-fluido son: adsorción, desorción, secado y lixiviación. De éstas la adsorción es una de las mas utilizadas para la purificación de agua, recuperación de soluto en soluciones, entre otras aplicaciones (7).

3.1.1 GENERALIDADES

La adsorción es la transferencia de un soluto en un gas o líquido hacia la superficie de un sólido en donde el soluto es retenido como resultado de atracciones intermoleculares con las moléculas sólidas. La sustancia que se adsorbe es el adsorbato y el material sobre el cual lo hace es el adsorbente. El proceso inverso de la adsorción es la desorción. El proceso de intercambio iónico cae dentro del proceso de adsorción, pero con fuerzas intermoleculares más fuertes (7).

Las características principales de la adsorción son (40):

- ↻ La adsorción es altamente selectiva. La cantidad adsorbida depende en gran medida de la naturaleza y fabricación del adsorbente, así como de la naturaleza de la sustancia adsorbida.
- ↻ Es un proceso rápido que desciende cuando aumenta la cantidad adsorbida.
- ↻ Es un proceso espontáneo, generalmente exotérmico

3.1.2 TIPOS DE OPERACIONES DE ADSORCIÓN

Los fenómenos de adsorción pueden ser divididos en dos (7):

- ↻ Quimisorción ,adsorción química o adsorción activada
- ↻ Fisorción ,adsorción física o adsorción de Van der Waals

La adsorción física es la más frecuente, mientras que la quimisorción se manifiesta, únicamente, cuando el adsorbente y el adsorbato tienden a formar un compuesto. Sin embargo existen otras diferencias significativas entre el fenómeno de fisorción y quimisorción, detallados en la tabla 3.1

TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE ADSORCIÓN.

CARACTERÍSTICA	QUIMISORCIÓN	FISISORCIÓN
Rango de temperaturas	Ilimitado (depende de cada molécula)	Próximo al punto de condensación del gas
Entalpías de adsorción	Amplio rango ($40-800 \text{ kJmol}^{-1}$), comparable con entalpía de reacciones químicas	Bajas, entre $5 \text{ a } -40 \text{ kJmol}^{-1}$ Comparable con entalpía de condensación
Especificidad cristalográfica	Alta, varía mucho dependiendo del plano	Virtualmente independiente de la geometría de la superficie
Naturaleza de la adsorción	A menudo disociativa. Puede ser irreversible.	No disociativa. Reversible
Saturación	Monocapa	Multicapa
Cinética de adsorción	Variable, suele ser un proceso activado.	Rápida, no es un proceso activado.
Reversibilidad	Es difícil de revertir	Se invierte con facilidad

Fuente: Adsorción de materiales en superficie sólida (13)

3.1.3 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Las isotermas de adsorción se utilizan para describir el estado de equilibrio de un proceso dinámico de adsorción-desorción la cual relaciona la concentración en el adsorbente frente a la concentración en la fase acuosa, manteniendo constante el resto de variables involucradas (Presión, Temperatura, potencial de Hidrógeno (pH), etc.).

La gráfica de equilibrio en la adsorción presenta mayor o menor capacidad de un sólido para adsorber un compuesto determinado. Hay diversos tipos de comportamientos en las isotermas como lo muestra la figura 3.1

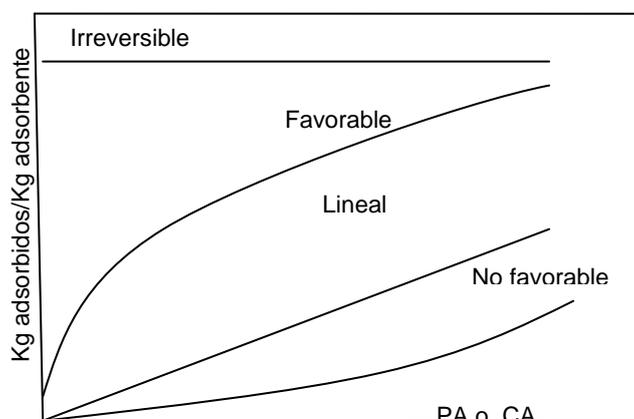


FIGURA 3.1 DIVERSOS TIPOS DE ISOTERMAS QUE REPRESENTAN LA ADSORCIÓN

(Fuente: Treybal)

En la adsorción física pueden intervenir tres fenómenos (47):

- ⇒ Adsorción monomolecular.
- ⇒ Adsorción multimolecular.
- ⇒ Condensación en poros o capilares.

En la adsorción química interviene únicamente el fenómeno de adsorción monomolecular.

3.1.3.1 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA GASES Y VAPORES

La IUPAC reconoce 6 tipos de isotermas de adsorción que se manifiestan cuando el soluto es un gas o un vapor, en la figura. En la Figura 3.2 se muestra un esquema de cada una de ellas (4).

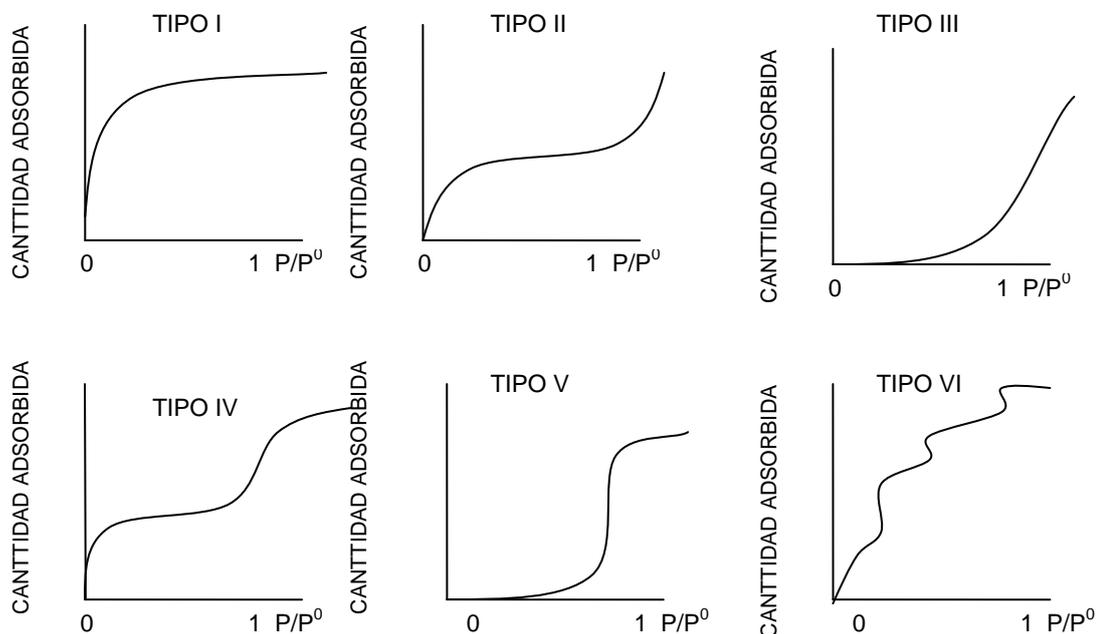


FIGURA 3.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS SEIS TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN (Fuente: Universidad de Alicante (14)).

La isoterma tipo I se caracteriza porque la adsorción se produce a presiones relativas bajas y es la que muestran los sólidos microporosos.

La isoterma tipo II es característica de sólidos macroporosos o no porosos, tales como negros de carbón.

La isoterma tipo III ocurre cuando la interacción adsorbato-adsorbente es baja. Este tipo de isoterma se ha observado en adsorción de agua en negros de carbón grafitizados.

La isoterma tipo IV es característica de sólidos mesoporosos. Presenta un incremento de la cantidad adsorbida importante a presiones relativas intermedias y ocurre mediante un mecanismo de llenado en multicapas.

La isoterma tipo V, al igual que la isoterma tipo III es característica de interacciones adsorbato-adsorbente débiles, pero se diferencia de la anterior en que el tramo final no es asintótico.

La isoterma tipo VI es poco frecuente. Este tipo de adsorción en escalones ocurre sólo para sólidos con una superficie no porosa muy uniforme.

La forma de las isotermas proporciona una indicación sobre el tipo de porosidad de los sólidos adsorbentes (14).

La IUPAC reconoce tres tipos de poros atendiendo a su tamaño (14).

- ↗ Si son mayores de 50 nm se conocen como macroporos,
- ↗ si su diámetro está comprendido entre 2 y 50 nm se trata de mesoporos y
- ↗ si son menores de 2 nm, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.

Atendiendo a las diferentes características de los fenómenos de adsorción se han desarrollado ecuaciones que describan los mecanismos de adsorción supuestos, entre las ecuaciones de isotermas más comúnmente utilizadas se encuentran (38):

- a) Isotherma de Langmuir
- b) Isotherma de Freundlich
- c) Isotherma de Brunauer, Emmett y Teller (BET)

3.1.3.2 ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE LANGMUIR.

Antes de 1916 las teorías sobre adsorción postulaban bien la existencia de una película de líquido condensado o de una capa gaseosa comprimida cuya densidad disminuía a medida que aumentaba la distancia de la superficie.

La isoterma de adsorción de Langmuir se basa en los siguientes supuestos:

- ↗ solo tiene lugar una adsorción monomolecular
- ↗ la adsorción es localizada y
- ↗ el calor de adsorción es independiente del recubrimiento de la superficie.

La ecuación general de la isoterma de Langmuir en función de las concentraciones viene dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{C_A}{q_A} = \frac{1}{Q * K} + \frac{C_A}{Q} \quad (1)$$

donde:

C_A : concentración de equilibrio del soluto en el líquido., q_A : capacidad de intercambio en el equilibrio., Q : constante relacionada con los lugares ocupados y libres en la superficie del adsorbente. Y K : constante de equilibrio de la reacción.

A presiones pequeñas, la isoterma de Langmuir describe un comportamiento lineal la adsorción del volumen de gas en función de la presión. La curvatura de la isoterma a presiones intermedias depende del valor de la constante y, por tanto, de la temperatura.

3.1.3.3 LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE FREUNDLICH O CLÁSICA.

A temperatura constante, la cantidad adsorbida aumenta con la concentración adsorbato y la relación entre la cantidad adsorbida (x) y la concentración (C) de la disolución en el equilibrio, se conoce como isoterma de adsorción. Sólo a muy bajas concentraciones x es proporcional a C . Por regla general, la cantidad adsorbida se incrementa menos de lo que indicaría la proporcionalidad a la concentración, lo que se debe a la gradual saturación de la superficie y, en muchos casos, la isoterma se puede representar por una ecuación de la forma(7):

$$\frac{x}{m} = k * C^n \quad (2)$$

siendo m la cantidad de sustancia adsorbente, K y n constantes para el sistema y temperatura dada. La constante n es, generalmente, menor que la unidad.

Si se toman logaritmos, quedará:

$$\log \frac{x}{m} = \log k + n \log C \quad (3)$$

Por lo tanto, al representar $\log x/m$ en función de $\log C$ dará una recta de pendiente igual a n y ordenada en el origen $\log K$.

De acuerdo a una forma sencilla y en función de X y Y , la ecuación de Freundlich se puede expresar como: $Y^* = mX^n$, el coeficiente n , es capaz de predecir que tan efectiva ha de ser la adsorción, de esta manera se presentan tres posibles casos, de acuerdo a la figura 3.3 (7):

- ↗ La isoterma es recta cuando $n=1$
- ↗ La isoterma es cóncava hacia arriba cuando $n>1$
- ↗ La isoterma es cóncava hacia abajo cuando $n<1$

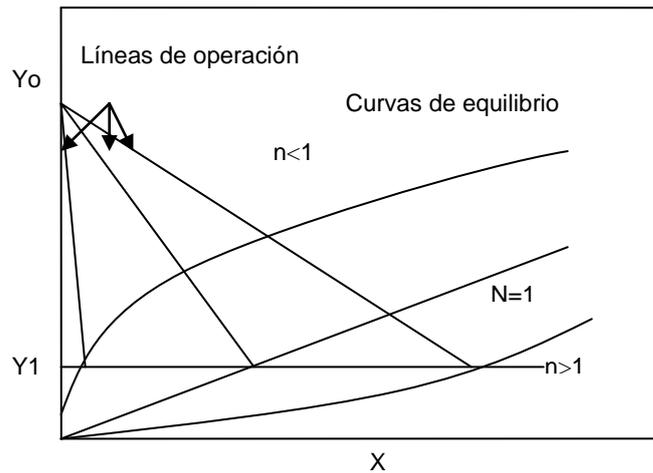


FIGURA 3.3: CURVAS EN EL EQUILIBRIO DE FREUNDLICH (Fuente: Treybal)

3.1.3.4 ISOTERMA DE BET

La ecuación de sorción de Brunauer, Emmett y Teller (BET) representa una base en la interpretación de isotermas multicapas de sorción y ha sido aplicada en adsorción de gases y vapores en superficies y sólidos porosos, como también en adsorción de vapor, especialmente de agua, por polímeros y otros materiales homogéneos. La principal aplicación de la ecuación de BET sea la de estimación de áreas de superficie.

(47).

3.1.4 OPERACIONES DE ADSORCION

Las operaciones de adsorción se clasifican en función del sistema de contacto entre el soluto y el adsorbente, de modo que existen los siguientes sistemas (7):

- ↗ Sistema discontinuo o tanque agitado
- ↗ Sistemas semicontinuo o de lecho fijo
- ↗ Sistemas continuos

3.1.4.1 SISTEMA DISCONTINUO O TANQUE AGITADO

En la operación en tanque agitado una cantidad de adsorbente se mezcla con la fase acuosa durante un período de tiempo y posteriormente se separa por filtración o sedimentación. La flexibilidad de este proceso lo hace adecuado para muchas aplicaciones, y en particular para la potabilización de aguas que contienen un bajo nivel de contaminante el cual puede variar estacionalmente. Se recomienda utilizar adsorbentes con un tamaño pequeño de partícula ($<44 \mu\text{m}$) para que exista una alta velocidad de adsorción y tiempos cortos de contactos.

3.1.4.2 SISTEMA SEMICONTINUO O DE LECHO FIJO.

La operación en lecho fijo se emplea normalmente en instalaciones a gran escala, donde el fluido pasa de forma continua por un lecho empacado de adsorbente. En estas instalaciones

se usan sólidos con un intervalo de tamaños que oscila entre 0.55 y 1.35 mm, puesto que este tamaño permite un buen compromiso entre la velocidad de adsorción y la pérdida de carga del lecho. La operación en columna permite una utilización más eficiente del adsorbente, ya que se aprovecha toda la capacidad adsorbente del sólido. Entre los sistemas semicontínuos se puede encontrar la cama empacada de adsorción que es un proceso semicontinuo, dado que el flujo del fluido solvente entra y sale, el adsorbato entra y se acumula, y el adsorbente aunque se queda dentro del recipiente, sufre cambios por adherirse el soluto. El diagrama de flujo esquemático para este tipo de operaciones es el mostrado en la figura 3.4

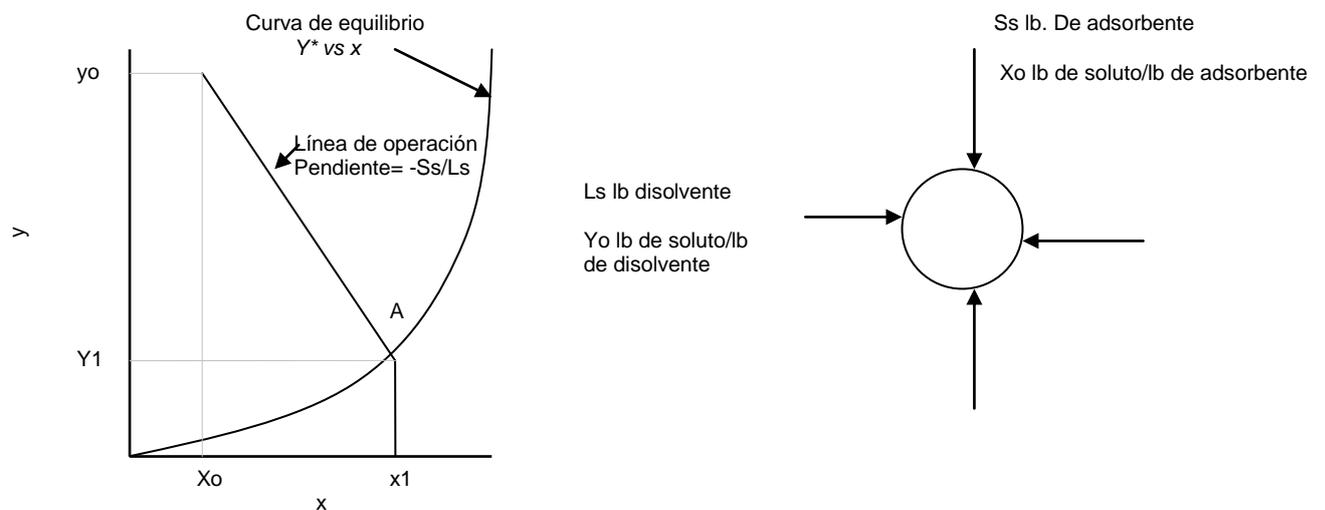


FIGURA 3.4: DIAGRAMA DE CURVA DE EQUILIBRIO Y BALANCE DE MATERIA ALREDEDOR DEL EQUIPO DE ADSORCIÓN (Fuente:Treybal)

En el diagrama, el círculo representa la columna de adsorción, y las variables que se tienen en el momento de su puesta en marcha. De esta manera se puede realizar un balance de la masa alrededor de la columna como sigue:

$$Ls(Yo - Y1) = Ss(X1 - Xo)$$

Dicha ecuación representa una línea de operación recta.

3.1.4.3. SISTEMAS DE CONTACTO CONTÍNUO

En los sistemas de contacto en continuo, también denominados lechos móviles, la fase a tratar se introduce por la parte inferior del lecho de adsorción y se hace fluir hacia la parte superior, mientras que el adsorbente usado es eliminado por la parte inferior introduciendo un volumen igual de carbón fresco por la parte superior de la columna. El comportamiento de estos lechos móviles es el mismo que el de un conjunto de lechos fijos operando en serie. Este tipo de sistemas es adecuado en aquellos casos en los que se usan grandes cantidades de carbón (38).

3.1.5 ECUACIONES DE ADSORCIÓN

Entre las ecuaciones de adsorción se encuentra la determinación del punto de ruptura, el tiempo en que tarde el lecho en poder saturarse para terminar de esta manera el ciclo de adsorción y empezar el ciclo de regeneración del sólido.

La Figura 3.7 muestra precisamente cómo va ocurriendo la adsorción. En dicha ilustración se ve que al inicio, toda la cama resulta totalmente efectiva, y a medida que pasa el tiempo, parte del sólido se satura y no sirve para retener más compuesto, por lo que la alimentación fresca tiene que pasar más adelante para que la adsorción pueda ocurrir. Es lógico pensar que el sólido más cercano a la entrada del fluido sea el primero que se satura, mientras que al más alejado le ocurre lo contrario, es por esto que la frontera entre la cama saturada y la no saturada (L_{sat}) pareciera moverse. Dicho frente es en realidad toda una región llamada zona de adsorción. Una longitud asociada con este término, denominada como la longitud de la cama sin usar y abreviada LUB por sus siglas en inglés, se muestra en el mismo dibujo y es el frente que avanza.

El tamaño de la zona de adsorción indica la rapidez del proceso

- Si la zona es muy pequeña, tal que prácticamente no existe (es decir, $LUB = 0$), se estará implicando que la adsorción es instantánea, y habría una frontera bien clara entre la sección ya adsorbida y la sección posterior aún sin adsorber, la primera estaría “mojada” y la otra “seca”, claro que bajo la consideración de un flujo tapón. Esta situación ocurriría si no existiera transferencia de masa entre las partículas y en el interior del poro y la capacidad del adsorbente fuera ilimitado.
- Como sí existen estos fenómenos, la frontera realmente es una zona, a la que se le llama zona de adsorción. Y entre más grandes sean las resistencias mencionadas, más expandida será dicha zona. Todo esto se presenta en la figura 3.5

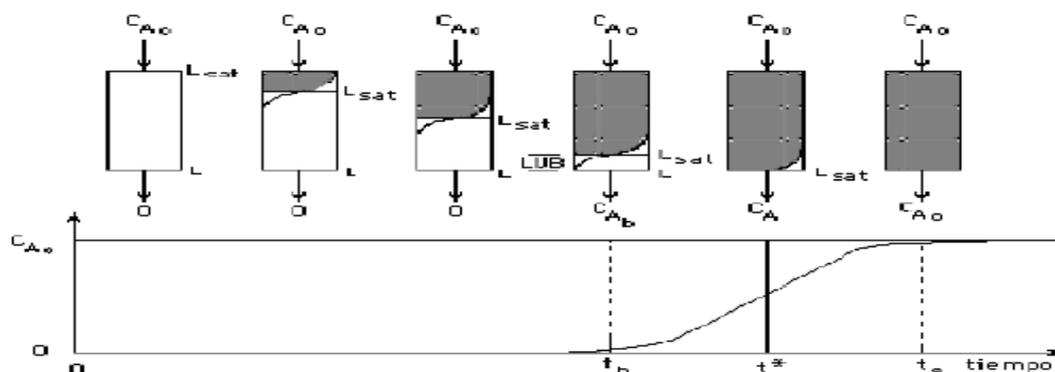


FIGURA 3.5: ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL AVANCE DEL FRENTE O ZONA DE ADSORCIÓN (Fuente: Treybal)

En dicho esquema se representa el avance del frente o zona de adsorción, en donde la región sombreada representa al sólido ya saturado, el sombreado intermedio indica una saturación parcial y la zona blanca muestra que no se ha adsorbido nada en dicho lugar

El tiempo que se requiere para saturar la cama es una función de (28):

- ↗ la capacidad adsorbente;
- ↗ el flujo del fluido, y
- ↗ la concentración del adsorbato en el fluido.

El tiempo del punto de quiebre (t_b) es el tiempo en el que empieza a detectarse que la cama se está agotando en su capacidad adsorbente (Figura 3.7) y su definición es para un valor arbitrario de concentración, como puede ser el 5% de la concentración alimentada.

El tiempo de saturación (t_s) es aquel en el que ya la cama completó su función y está completamente agotada. Un valor típico para t_s es, por ejemplo, el tiempo que tarda en llegar la salida en registrar el 95% de la concentración de alimentación.

Para calcular el tamaño de la cama sin usar (LUB) a partir de la curva de ruptura se hace obteniendo su complemento, que es la sección ya utilizada o agotada L_{sat} , que siempre será $(L-LUB)$, y con la información obtenida del sistema al examinar la Figura 3.6, se obtiene por relaciones:

$$\frac{L_{sat}}{L} = \frac{t_b}{t^*} \quad (4)$$

y como $L_{sat} = L - LUB$ se puede despejar

$$LUB = L \left(1 - \frac{t_b}{t^*} \right) \quad (5)$$

Estos parámetros no nada más se obtienen del proceso industrial, sino que estudiando adecuadamente un proceso a nivel piloto, se podría escalar la información obtenida de la curva de avance (7).

3.1.6 ETAPAS CINÉTICAS DE LA ADSORCIÓN

Para contar con una mayor explicación teórica sobre la adsorción es necesario comentar el aspecto cinético del sistema. Durante el proceso de adsorción y debido a la estructura porosa del adsorbente, el adsorbato pasa por una serie de etapas desde el seno de la disolución hasta alcanzar la superficie interna del adsorbente:

- ↗ Transporte global del soluto
- ↗ Transporte externo (t_{me}) - difusión en película el soluto se transfiere desde la masa global hasta la superficie del sólido.

- ↪ Difusión interna (d_i) el soluto penetra en el interior de los poros del adsorbente suele ser la etapa controlante
- ↪ Adsorción

El transporte global del soluto se refiere a la transferencias del soluto desde el seno de la fase líquida hacia la película líquida que rodea el adsorbente. Esta transferencia se hace por difusión y/o convección.

El transporte externo se refiere a la transferencia del soluto a través de la película líquida hacia la superficie del adsorbente. Caracterizada por el coeficiente de transferencia de masa global externa (K_f), parámetro inversamente proporcional a la resistencia ejercida por la película externa a la transferencia de masa. El espesor de esta película externa, d , y K_f dependen de las turbulencias existentes en el interior de la fase líquida.

La difusión del soluto en el grano, bajo los efectos del gradiente de concentración. Esta difusión puede hacerse: en estado libre, en el líquido intraparticular (el coeficiente de difusión porosa, D_p , caracteriza esta migración); o en estado combinado, de un sitio de adsorción a otro adyacente (el coeficiente superficial, D_s , es específico de esta etapa).

Adsorción propiamente dicha. Es te fenómeno corresponde al sistema de más baja energía y se caracteriza por las interacciones soluto–soporte, Estas etapas se efectúan en serie siendo la más lenta la que impone la cinética. Para la mayoría de los autores, las etapas 1 y 4 son rápidas; por lo tanto, es la transferencia de masa a través de la película y de difusión en el interior del grano (superficial y porosa) las que controlan la cinética de adsorción (7).

3.1.7 TIPOS DE ADSORBENTES

Como regla general, los solutos más fáciles para adherirse son los compuestos más complejos, molecularmente hablando, y los sólidos más usados son el carbón activado, alúmina activada, gel de sílice, algunas tierras o arcillas especialmente activadas, entre otras

Los adsorbentes pueden clasificarse como polares y apolares. Es importante mencionar que la efectividad que un sólido adsorbente depende de factores tales como la selectividad del adsorbente, la naturaleza del soluto, la concentración del soluto, la naturaleza del adsorbente, la fabricación del adsorbente, la temperatura a la que se efectúe la adsorción, entre otras características. Entre los adsorbentes más comúnmente usados se tiene:

- ↪ Tierras de fuller: son arcillas naturales, la arcillase calienta y se seca durante el cual desarrolla una estructura porosa, se utiliza para decolorar, neutralizar y secar productos derivados del petróleo lo mismo que aceites vegetales.
- ↪ Arcillas activadas: Son la bentonita u otras arcillas que se activan químicamente, se utiliza para decolorar productos del petróleo.
- ↪ Carbón de hueso: Se obtiene al deshidratar y pulverizar huesos y se utiliza en la industria azucarera
- ↪ Carbones decolorantes: Se utiliza para la decoloración del azúcar, sustancias químicas industriales, drogas y líquidos de limpieza en seco, purificación de agua entre otros.
- ↪ Carbón adsorbente de gases: Se prepara de la carbonización de la cáscara de coco, semillas de fruta, carbón, lignita y madera. Debe ser activado lo cual equivale esencialmente a un proceso parcial de oxidación mediante tratamiento con aire o vapor caliente. Se puede conseguir en forma granular o de lentejas.
- ↪ Adsorbente poliméricos sintéticos: Se utiliza para la adsorción de orgánicos no polares a partir de soluciones acuosas.
- ↪ Silica gel: Se utiliza principalmente para la deshidratación de el aire y otros gases.

3.2 GENERALIDADES DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado posee la capacidad de adherir o retener en su superficie uno o más componentes (átomos, moléculas, iones) del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente.

El carbón activado se caracteriza por poseer una superficie específica (alrededor de 500 a 1500m² por gramo) con una infinita cantidad de poros muy finos que son los que retienen (adsorben) ciertos compuestos no deseados. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que “activa” y crea la porosidad. (61)

La estructura única del carbón activado, pone a disposición un área superficial de adsorción de grandes dimensiones. Típicamente 1 kg de carbón activado granular posee un área superficial de 1, 100,000 m² (1 lb. = 125 acres). El carbón activado puede ser producido a partir de una gran variedad de materias primas carbonizables, siendo entre ellas las principales: Carbón mineral, cáscara de coco, madera, lignita, etc. Las propiedades intrínsecas del carbón activado que se obtiene son totalmente dependientes de la fuente de materia prima utilizada.

La superficie del carbón activado tiene carácter no-polar, es por ello que proporciona afinidad para aquellos adsorbatos no-polares, tales como los compuestos orgánicos.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en " multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. (39)

3.2.1 CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DEL CARBÓN ACTIVO

Composición química. El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distribución de poros y superficie específica) y en su granulometría. El carbón activo se compone en un 75-80% en carbono y un 5-10% en cenizas.

Estructura física del carbón activo. El carbón activo posee una estructura microcristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar a una distribución de tamaños de poro bien determinada. Los poros de un carbón activado se clasifican en tres, de acuerdo a su tamaño: (ver fig. 3.6)

- ⇒ Microporos
- ⇒ Poros medios
- ⇒ Macroporos

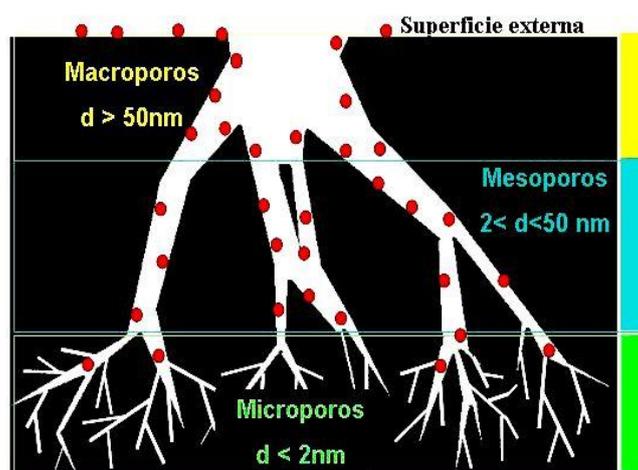


FIGURA 3.6: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA POROSO DE UN CARBÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS POROS SEGÚN SU TAMAÑO.

(Fuente: <http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>)

En la Fig. 3.7 se aprecia la estructura de los macroporos y microporos de carbón activado.

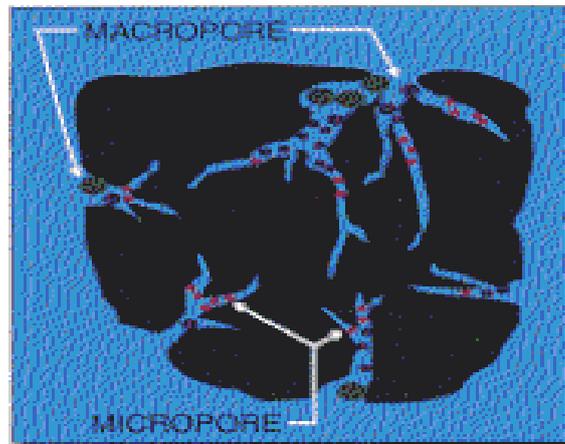


FIGURA 3.7: ESTRUCTURA DE MACROPOROS Y MICROPOROS DEL CARBÓN ACTIVO. (Fuente: <http://www.carbonapelsa.com.mx/page/spanish/carbonactivado.html>)

La distribución del tamaño de poro depende fundamentalmente de tres factores: el origen de la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación. (44)

En la Fig. 3.8 puede observarse una vista microscópica de microporos de carbón activado.

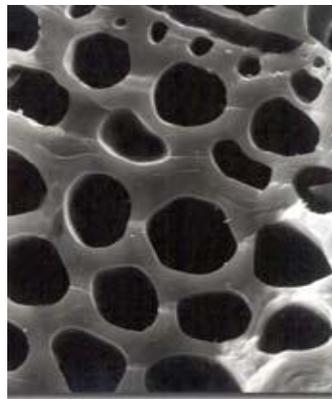


FIGURA 3.8: VISTA MICROSCÓPICA DE MICROPOROS DE CARBÓN ACTIVADO. (Fuente: <http://www.activatedcarbon.com.mx/clasif.htm>)

Desafortunadamente el área total y el tamaño de los poros no son fáciles de medir, y en consecuencia se suelen utilizar algunos índices como:

- ⌘ El índice de yodo.
- ⌘ El índice de melaza.
- ⌘ El índice de azul de metileno.
- ⌘ El índice de tetracloruro de carbono.

⇒ El índice de butano.

Estos índices dan una idea de que tan fácil se adsorben las moléculas de distintos tamaños, lo cual indica el tipo de poros que tiene un carbón. Normalmente es difícil que un carbón tenga poros de un solo tamaño, lo que tiene es una determinada distribución. (24)

3.2.2 PARAMETROS QUE INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES DE ADSORCION DEL CARBÓN ACTIVADO

⇒ Área Superficial

La capacidad de adsorción es proporcional al área superficial (ella es función del grado de activación del carbón).

⇒ Tamaño del Poro

La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción (suministrando los sitios de adsorción, los poros finos, y los canales de transporte adecuados para el manejo del adsorbato).

⇒ Tamaño de partículas

El tamaño de partículas no influye sobre el área superficial total. El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón.

⇒ Temperatura

Las temperaturas bajas aumentan la capacidad de adsorción.

⇒ Concentración del Adsorbato.

La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato (altas concentraciones proveen grandes fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción).

⇒ pH

La capacidad de adsorción aumenta, con aquellas condiciones de pH que aumentan la solubilidad del adsorbato.

⇒ Tiempo de Contacto

Para alcanzar el equilibrio en la adsorción y maximizar su eficiencia, se requiere de suficiente tiempo de contacto.

↗ Densidad Aparente

Es utilizada para indicar la actividad de un volumen de carbón. Esta es significativamente más baja que la densidad teórica del sólido (La actividad volumétrica es proporcional a la densidad aparente). (34)

3.2.3 FABRICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado se fabrica a partir de cualquier material carbónico como la madera, el carbón mineral, la cáscara de coco, etc., el cual es clasificado según el tamaño, carbonizado y activado para crear la enorme área de superficie y la estructura interna del poro que define las propiedades del carbón activado.

En la Tabla 3.2 se tienen algunas propiedades del carbón activado obtenido de diversos precursores:

TABLA 3.2 PROPIEDADES DEL CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE DISTINTOS PRECURSORES

PROPIEDAD	COCO	CARBÓN BITUMINOSO	LIGNITA	MADERA
Microporos	Altos	Altos	Medianos	Bajos
Macroporos	Bajos	Medianos	Altos	Altos
Dureza	Alta	Alta	Baja	Mediana
Cenizas	5 %	10 %	20 %	5 %
Cenizas solubles en agua	Altas	Bajas	Altas	Medianas
Polvo	Bajo	Mediano	Alto	Mediano
Regeneración	Buena	Buena	Pobre	Regular
Densidad Aparente	0.48 g/cc	0.48 g/cc.	0.3 g/cc	0.35 g/cc
Número de lodo	1100	1000	600	1000

(Fuente: Performance Chemicals Company Inc.)

El área de superficie (AS) del carbón activado varía de 500 a 2,500 metros cuadrados por gramo (m^2/g), dependiendo de la materia prima y del proceso de activación. El grado típico de carbón para tratamiento de agua tiene un área de superficie de 900 a 1,100 m^2/g .

No hay un solo tipo de carbón activado que resulte ser el mejor para todas las aplicaciones. El de base madera es muy macroporoso y es excelente para remoción de color (moléculas grandes). De igual manera, el carbón activado granular de cáscara de coco es muy duro y resistente a la abrasión, pero dado que es muy microporoso tendría un desempeño pobre en una aplicación de decoloración. El carbón activado base carbón mineral tiene la distribución más amplia en tamaño del poro e incluye poros de todos tamaños, por lo que se le considera como el carbón "atrapa-todo". (14)

La elección del precursor es fundamentalmente una función de su disponibilidad, precio y pureza, pero el proceso de fabricación y la posible aplicación del producto final han de ser muy tenidos en cuenta. Los procesos de fabricación se pueden dividir en dos tipos: activación física (también llamada térmica) y activación química. La porosidad de los carbones preparados mediante activación física es el resultado de la gasificación del material carbonizado a temperaturas elevadas, mientras que la porosidad que se obtiene en activación química es generada por reacciones de deshidratación química, que tienen lugar a temperaturas mucho más bajas. (57)

La concha de coco, es muy utilizada para producir carbón activado comercial, debido a su disponibilidad, bajo costo y a que los productos obtenidos a partir de él tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el Carbón activado puede tener.

El Carbón Activado de Coco es el carbón con más proporción de microporos, por lo tanto es el más adecuado para retener moléculas pequeñas; es el carbón más utilizado para purificación de aguas, ya que es el más duro y resistente a la abrasión. (36)

3.2.3.1 GENERALIDADES DEL COCO

El cocotero es originario del Asia, desde donde se ha extendido a todo el mundo. El fruto es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpo espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra. Más al interior se encuentra el endocarpo que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido o también conocido como agua de coco. El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo, envuelto por el albumen sólido. (47)

3.2.3.2 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICOS DEL COCO

El cocotero (*Cocos nucifera L.*) se clasifica botánicamente como:

Clase: Monocotyledoneae.

Orden: Palmales

Familia: Palmae

Subfamilia: Coccoideae

Genero: Cocos

Especie: nucifera (47)

3.2.3.3 USOS

Existen aproximadamente 360 usos domésticos. Algunos usos son:

Madera de coco. Se usa para la construcción de casas, puentes y granjas. La corteza exterior es dura y es muy útil para la fabricación de muebles. Para mejorar su calidad se deja un mes en agua salada.

El palmito. Es la yema terminal del cocotero y se consume crudo o cocido. Contiene 3% de almidón y 5% de azúcar.

Las raíces tienen propiedades antidiarréicas

Las palmas son usadas para techos, canastas, sombreros, alfombras, etc.

El agua de coco. Usada en la producción de bebidas envasadas.

Aceite. Usada en alimentos, cosmetología, combustibles y lubricantes.

Harina de coco. Es un subproducto de la extracción de aceite y se usa como alimento para ganado.

Copra. Es la carne blanca del coco, se usa como materia prima para la extracción de aceite. También tiene otros usos como coco rayado, deshidratado en conservas, etc.

El hueso o concha. Es el endocarpo que cubre la copra. Es usado como materia prima para producir carbón y carbón activado, o como combustible para calderas, cocinas, etc. también se usa para fabricar botones, cucharas, adornos, etc.

La estopa o mesocarpo. De ella se extrae fibra para elaborar pitas, alfombras, sacos, etc. El polvo de la estopa se usa para enmendar suelos arenosos ya que mejora el poder de retención de agua y la textura. (57)

3.2.3.4 VARIEDADES DE COCO EN EL SALVADOR

↗ Alto del Pacífico

Es usado para la producción de aceite y para consumo como fruta fresca, aunque el contenido de agua es alto, el sabor es poco dulce. Entre sus ventajas para cultivo están: el tamaño del fruto, la robustez de la planta, el contenido alto de copra, entre otros. (Ver Fig. 3.9)

Sin embargo, posee varias desventajas como: tolerante a la enfermedad conocida como Amarillamiento Letal del Cocotero (enfermedad que ha disminuido la población de cocoteros en Honduras, Belice, México y el Caribe), la fructificación tardía, la dificultad para realizar labores de cultivo por su porte alto y la baja producción de frutos por planta. (Ver Tabla 3.3)

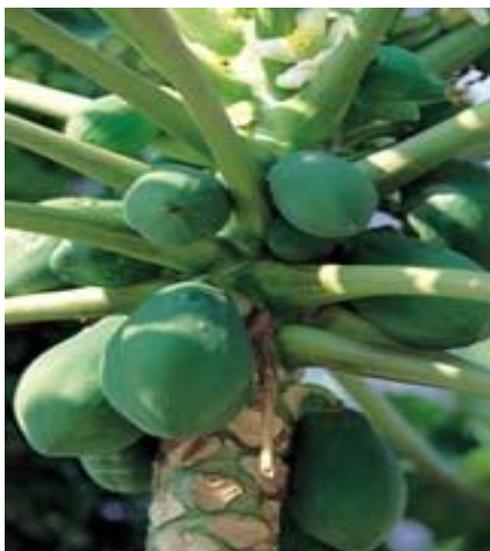


FIGURA 3.9: COCO ALTO DEL PACÍFICO. (Fuente: <http://www.consumer.es/>)

↗ Enano Malasino

Existen básicamente tres tipos diferenciados por el color del fruto en: verde, amarillo y rojo o dorado (ver Figura 3.10). Debido al sabor del agua, su uso potencial principal es la producción de agua para consumo en bebidas envasadas. Por su tamaño es poco atractivo para consumo como fruta fresca. Algunas ventajas de este grupo son: la resistencia al Amarillamiento Letal del Cocotero, la precocidad de producción, el rendimiento anual y el crecimiento lento.

Entre las desventajas se tienen: el tamaño pequeño del fruto, la mala calidad de la copra.



FIG. 3.10 COCO ENANO MALASINO (Fuente: <http://www-ni.laprensa.com.ni>)

⇒ Híbridos

Son el producto del cruce entre plantas del grupo de los gigantes y los enanos. En Centroamérica sólo se produce en Costa Rica, Nicaragua y El Salvador. Los usos de los híbridos son múltiples ya que adquieren las mejores cualidades de los padres dando como resultado frutos de tamaño de mediano a grande, buen sabor de agua, buen rendimiento de copra, crecimiento lento, producción de frutos alta y también hereda la resistencia al Amarillamiento del Enano Malasino mejorando la tolerancia del Alto. (57). (Ver Tabla 3.3)

TABLA 3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS GRUPOS DE COCOTEROS PRESENTES EN EL SALVADOR

CULTIVAR	TIPOS	INICIO DE PRODUCCIÓN	TIPO DE CRECIMIENTO	PRODUCCIÓN ANUAL PLENA (FRUTOS/PLANTA /AÑO)	PESO DE FRUTO (KG)	RESISTENCIA AL AMARILLAMIENTO LETAL DEL COCOTERO
Alto del Pacífico *	Número indeterminado	6 a 9 año	Alto	50 a 80	2	Tolerante
Enano Malasino o Malayo	Amarillo Verde Rojo o Dorado	3 año	Pequeño	120 a 150	1	Resistente
Híbrido	MAPAN y MAPAC	4 año	Pequeño	120 a 140	1.5	Resistente

Fuente: MAG

*Nota: No se recomienda para plantación comercial.

3.2.4 CLASIFICACION DEL CARBÓN ACTIVADO

En términos generales los carbones activados se clasifican en dos grandes grupos:

- ⇒ Carbones para purificación en fase líquida: Carbón Granular y Pulverizado.
- ⇒ Carbones para purificación en fase gaseosa.



FIG. 3.11 TIPOS DE CARBÓN ACTIVADO Y PRODUCTOS DE CARBÓN.

(Fuente: <http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>)

Las propiedades más importantes a considerar al seleccionar un carbón son el diámetro de los poros y las características de los mismos.

3.2.4.1 CARBON GRANULAR

La única diferencia entre un carbón granular y uno pulverizado es el tamaño de la partícula. Presentan un tamaño medio de partícula entre 1 y 5 mm (Ver Fig.3.12).



FIG. 3.12 CARBÓN GRANULAR COMERCIAL.

(Fuente: <http://www.activatedcarbon.com.mx/utiliz.htm>)

Existen dos variantes de sistema para carbón granular:

↗ Sistema de lecho móvil.

↗ Sistema de lecho fijo. (22)

SISTEMA DE LECHO MOVIL

En el sistema de lecho móvil, el licor fluye en forma ascendente y periódicamente se extrae de la columna una porción del carbón, la cual es reemplazada por carbón virgen o regenerado por la parte superior de la columna.

Este arreglo es más eficiente y proporciona una operación continua, sin embargo tiene algunas desventajas, por ejemplo: el líquido debe estar libre de cualquier sólido suspendido, ya que en caso contrario la cama de carbón actuará como filtro ocasionando presurización. El flujo debe ser estrictamente controlado ya que en caso de haber variaciones importantes, la cama de carbón podría fluidizarse y el líquido arrastrar carbón.

SISTEMA DE LECHO FIJO

En este sistema el flujo es descendente, el carbón se va agotando paulatinamente de arriba hacia abajo y cuando la concentración a la salida es mayor a la máxima permitida, la columna se saca de operación y el carbón es regenerado completamente. Este arreglo es menos eficiente ya que cuando se saca de operación la columna, parte del carbón todavía tiene un cierto grado de actividad. Pero tiene la ventaja de ser más versátil ya que si el licor llegara con sólidos suspendidos que quedaran atrapados en la cama del carbón, se suspende la operación y se retrolava sin ningún problema. Además si el flujo aumentara considerablemente no se presentaría ningún problema.

Una variación de este arreglo para hacerlo más eficiente y agotar mejor el carbón consiste en usar dos columnas en serie, cuando la primera columna se agota la no. 2 se convierte en 1 y una columna recién regenerada entra al sistema como 2ª columna. En los sistemas de lecho fijo es necesario dejar siempre un espacio equivalente al 40-50% de la altura del carbón como espacio libre y disponible para retrolavar la cama de carbón. Al retrovalar debe usarse un flujo tal que permita expandir la cama entre un 20% y un 30%. (22).

3.2.4.2 CARBON PULVERIZADO

El Carbón Activado pulverizado presenta tamaños menores de 100 μm , siendo los tamaños típicos entre 15 y 25 μm . (Ver Fig. 3.13)



FIG. 3.13 CARBÓN PULVERIZADO COMERCIAL.

(Fuente: <http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>)

Cuando se utiliza carbón en polvo éste es agregado al producto a purificar en un tanque con suficiente agitación para mantener una suspensión homogénea después de dar un tiempo de contacto adecuado, el carbón es removido por sedimentación o filtración. En este último caso es recomendable el uso de un filtro ayuda, para obtener una filtración más eficiente. (Ver Fig. 3.14).

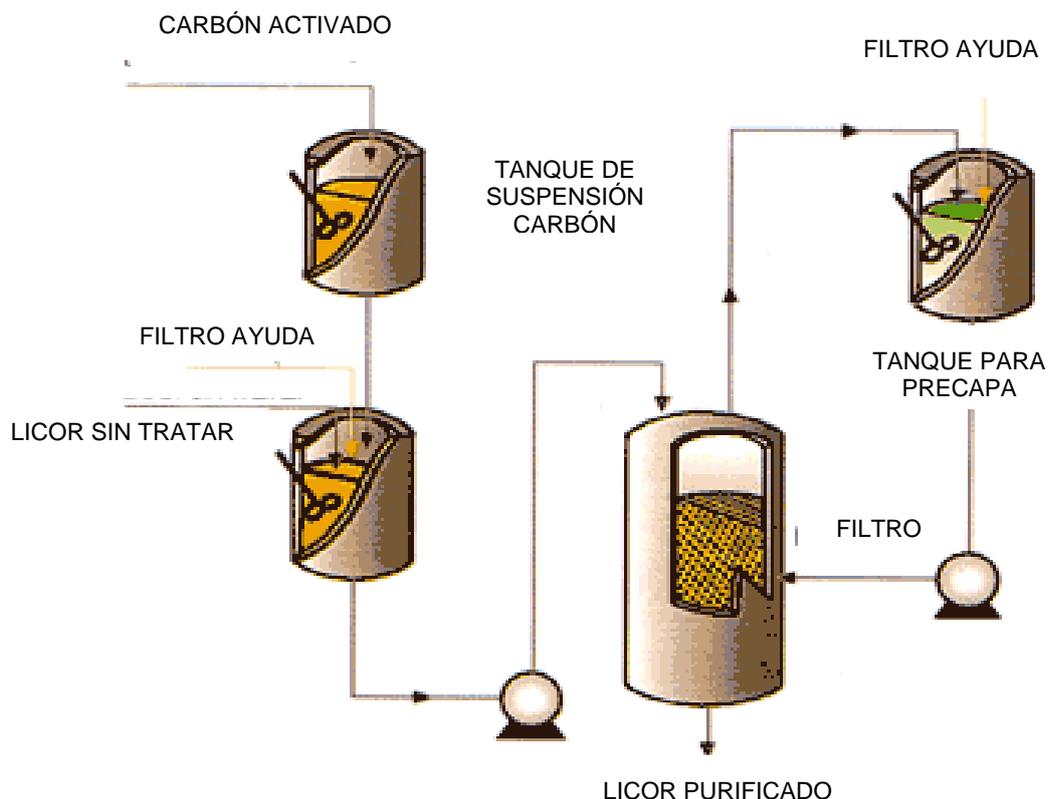


FIGURA 3.14: SISTEMA PARA CARBÓN PULVERIZADO

(Fuente: <http://www.activatedcarbon.com.mx/utiliz.htm>)

La operación con carbón pulverizado tiene la ventaja de ser más versátil, ya que puede modificarse la dosis de acuerdo a la calidad de líquido que se está purificando,

amortiguando así las variaciones del proceso. Además el equipo que se requiere es muy sencillo y convencional, por lo tanto la inversión requerida no es alta.

En algunas ocasiones la Isoterma para una aplicación muestra una pendiente muy pronunciada, lo que quiere decir que para alcanzar altos niveles de purificación se requiere de altas dosis de carbón activado, para mejorar el aprovechamiento del carbón y reducir la dosis es hacer un doble contacto a contracorriente. (Ver Fig. 3.15).

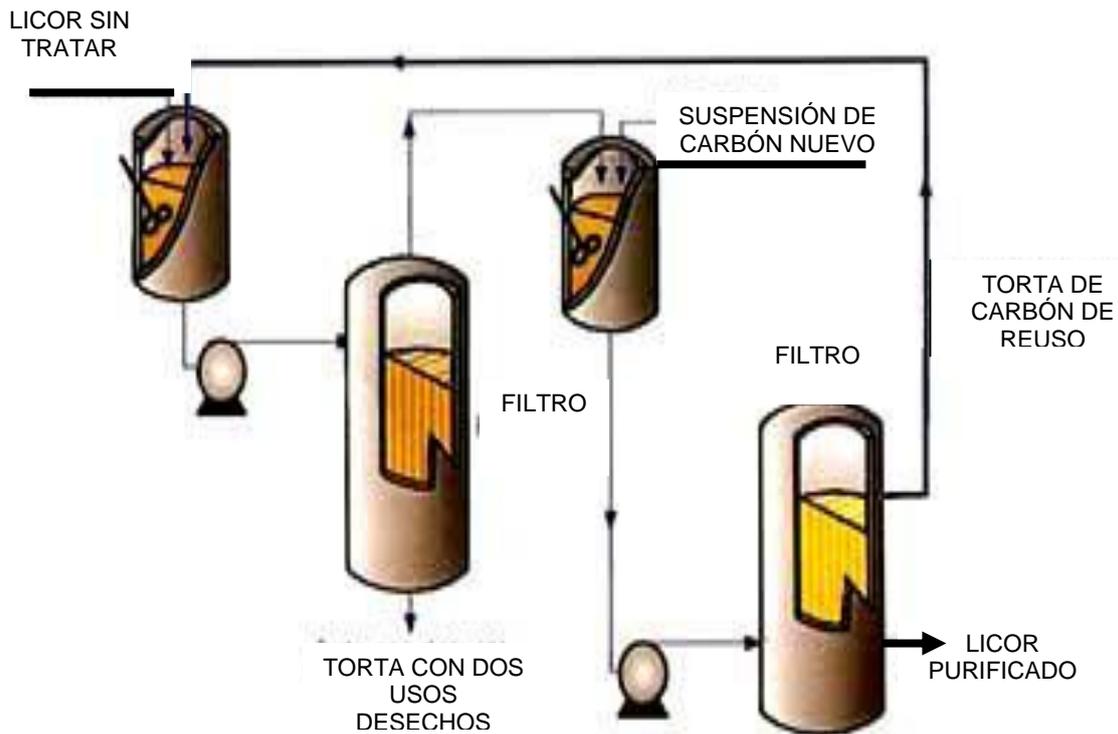


FIGURA 3.15: SISTEMA PARA CARBÓN PULVERIZADO DE DOBLE CONTACTO A CONTRACORRIENTE. (Fuente: <http://www.activatedcarbon.com.mx/utiliz.htm>)

El resultado del doble contacto es un ahorro importante de carbón ahorro que puede llegar a niveles del 50% ó más. (23)

3.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL EMPLEO DE CARBÓN ACTIVO EN POLVO Y EN LECHOS FILTRANTES EN GRANO

El empleo de carbón activado ya sea en polvo o granular, depende de la necesidad específica en cada operación. Cada tipo de carbón presenta sus ventajas y desventajas, algunas de ellas se presentan en la tabla 3.4

TABLA 3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CARBÓN ACTIVADO GRANULAR Y CARBÓN ACTIVADO PULVERIZADO

CARBÓN ACTIVADO GRANULAR		CARBÓN ACTIVADO PULVERIZADO	
VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
Se emplea para eliminar porcentajes entre el 80 y 98 % del contaminante inicial. Es decir, remueve mayor porcentaje de contaminantes que el carbón en polvo.	Se ve más afectado por la variaciones en la concentración de los contaminantes, unos contaminantes pueden fijarse en mayores cantidades que otros y por otra parte algunos contaminantes pueden desplazar a otros ya adsorbidos (desorción).	Se puede escoger la calidad y tipo, así como la dosis a emplear según el contaminante a eliminar, es decir su empleo ofrece gran flexibilidad.	Su dosis depende de la concentración de equilibrio del contaminante residual en el agua, es decir depende de la pendiente de la isoterma y del porcentaje de eliminación que se desea conseguir del contaminante.
Aprovechamiento del producto, al poder regenerarse	En los lechos de carbón activo granular, puede tener lugar la proliferación de determinados microorganismos.	La aplicación de carbón en polvo requiere instalaciones simples, similares a las de otros productos sólidos empleados en el tratamiento del agua.	En los lechos de carbón activo en polvo, puede tener lugar la proliferación de determinados microorganismos.
	Requiere instalaciones con estructuras más complejas y de mayor coste inicial.	Mayor Disponibilidad.	La regeneración del carbón activado en polvo es más compleja.

Fuente: [http://potablewater.iespana.es/tratamiento de olores y sabores.htm](http://potablewater.iespana.es/tratamiento_de_olores_y_sabores.htm)

3.2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN DE COMPUESTOS PRESENTES EN EL AGUA:

La efectividad de un carbón activo en cuanto a la adsorción de sustancias contaminantes, depende de varios factores:

- ⇒ El tipo de compuesto que desee ser eliminado. Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
- ⇒ La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanta más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.

- ↪ Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
- ↪ El pH del agua. El grado de adsorción de sustancias orgánicas se incrementa en general al disminuir el pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pH bajos.
- ↪ Solubilidad del contaminante en el agua. En general cuanto más soluble es en el agua, presenta más dificultad de ser adsorbido por el carbón.
- ↪ Polaridad del contaminante: Las moléculas con menor o nula polaridad son mejor adsorbidas.
- ↪ Tamaño de las moléculas del contaminante: La mejor adsorción, en este caso, depende también del tamaño de los poros del propio carbón, el tamaño de la molécula contaminante debe ser algo más pequeña que la dimensión de los poros del carbón. Las moléculas mayores también son adsorbidas pero provocan rápidamente la inactivación del carbón al disminuir la superficie útil de adsorción. Se suele establecer que el tamaño de los poros debe ser del orden de 1 a 5 veces el diámetro de las moléculas a retener. (45)

Según esto se pueden clasificar algunos compuestos según su probabilidad de ser eficazmente adsorbidos por el carbón activo en el agua. (Ver Anexo 2).

3.2.7 CONSIDERACIONES AL APLICAR EL CARBÓN ACTIVADO EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA

A la hora de elegir un carbón activo, han de tenerse en cuenta determinadas propiedades además de la intensidad y capacidad de adsorción, como son la dureza, permeabilidad, densidad y solubilidad. Algunas consideraciones para aplicar el carbón activado en agua son las siguientes:

- ↪ La eficacia del carbón para eliminar sustancias orgánicas con bajo peso molecular (menor de 2 átomos de carbono) es menor que en el caso de sustancias con mayores pesos moleculares, este hecho ha de tenerse en cuenta al emplear la ozonización conjuntamente con el carbón activo.
- ↪ Las sustancias o moléculas que originan olores y sabores en el agua, suelen ser moléculas pequeñas fácilmente adsorbibles por el carbón activo con porosidad tipo microporos, mientras que para la adsorción de moléculas mayores, como por ejemplo las de ácidos húmicos y fulvicos, precursores de trihalometanos, es más adecuado el carbón con poros de mayor tamaño o macroporos. El carbón activo es

también empleado como medio para minimizar la formación de subproductos de la desinfección.

- ↗ En el tratamiento con carbón activo, es de suma importancia el tiempo de contacto entre el agua y el carbón, pues el carbón en función de características propias, requiere tiempos de contacto distintos para adsorber las sustancias del agua. El tiempo de contacto generalmente aceptable en los filtros de carbón es del orden de 5 a 10 minutos para un espesor del lecho de 1 metro y una velocidad superficial generalmente algo mayor a los 12 m/h. En cuanto al lavado a contracorriente de estos lechos, hay que prever un resguardo suficiente de cara a la expansión que suele variar entre el 20% y el 40% del espesor inicial.
- ↗ En cuanto al punto de aplicación o fase del proceso de tratamiento, en el cual tiene lugar el contacto del agua con el carbón, puede expresarse de forma general que el carbón en polvo se debe aplicar después de la coagulación y formarse el flóculo, es decir, antes de la sedimentación y filtración, tratando así de evitar la película o capa que el coagulante empleado podría llegar a rodear a las partículas de carbón, impidiendo o dificultando la adsorción. En el caso de empleo de filtros de carbón, esta fase del proceso debe tener lugar después de la filtración por arena y antes de la desinfección final del agua.
- ↗ El carbón activo, en general elimina las sustancias orgánicas como disolventes, hidrocarburos, pesticidas y algunas otras sustancias inorgánicas, presentes también en el agua, como el propio cloro, arsénico, mercurio, cromo, etc.
- ↗ El carbón activo elimina sustancias inorgánicas como por ejemplo el cloro, mediante un mecanismo diferente a la adsorción física. En el caso de la eliminación del cloro o de cloración con carbón activo, éste puede actuar como reactivo o como catalizador.
- ↗ Es importante realizar pruebas piloto con diferentes carbones para conocer que carbón elimina con mayor eficacia la sustancia contaminante del agua correspondiente, así como determinar el breakpoint o punto a partir del cual la adsorción de sustancias por el carbón empieza a decrecer. (68)

3.2.8 PROCESOS DE ACTIVACION DEL CARBÓN

Las características específicas de los distintos tipos de carbones activados dependen principalmente de:

- ↗ La materia prima
- ↗ El proceso de activación utilizado

Es importante mencionar que una misma materia prima que sea activada por procesos diferentes dará como resultado carbones con propiedades diferentes.

El proceso de activación consiste básicamente en reordenar los átomos de carbono en anillos tipo benceno para lograr una estructura cristalina reticular similar a la del grafito (ver fig. 3.16), en otras palabras, la activación consiste en "multiplicar" la cantidad de poros de un carbón dando como resultado una estructura extremadamente porosa de gran área superficial disponible para llevar a cabo el proceso de adsorción de impurezas que provocan olor, color o sabor indeseable. (58).

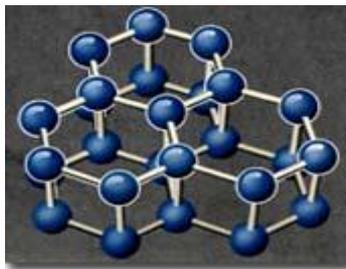


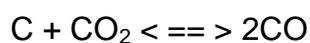
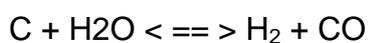
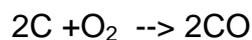
FIG. 3.16 ESTRUCTURA CRISTALINA DEL CARBÓN ACTIVADO. (Fuente: <http://www.activatedcarbon.com.mx/procesos.htm>)

Existen básicamente dos procesos a través de los cuales se puede lograr la activación: (58)

- ↗ Proceso Físico
- ↗ Proceso Químico

3.2.8.1 PROCESO FÍSICO

La activación física consiste en oxidar la materia prima a altas temperaturas en presencia de un agente oxidante, usualmente, vapor de agua, debido a que la reacción es endotérmica es necesario generar una temperatura constante, normalmente y dependiendo de la materia prima, ésta es de 800 °C. (58) (Ver. Fig. 3.17) Los agentes activantes que se suelen usar son: Oxígeno (raramente a escala industrial) aire, vapor de agua (el mas usado) y CO₂. Estos agentes dan lugar a las siguientes reacciones químicas que eliminan átomos de carbono produciendo así la porosidad:



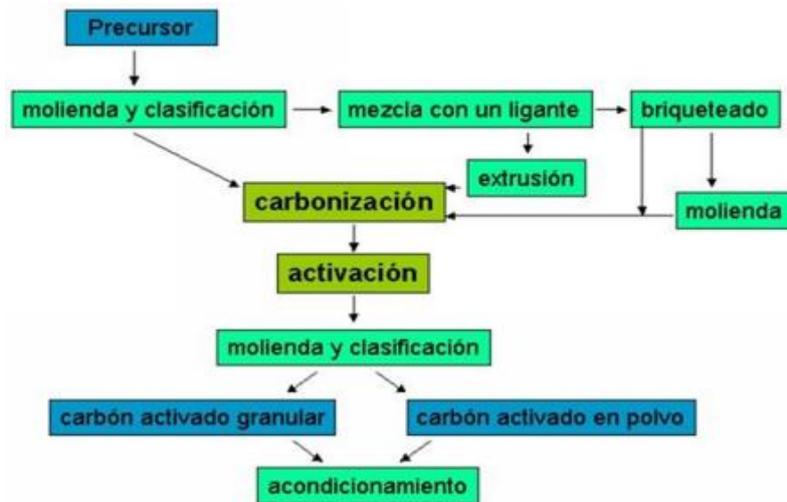


FIG. 3.17 PROCESO DE ACTIVACIÓN TÉRMICA.

(Fuente: <http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>)

3.2.8.2 PROCESO QUÍMICO

La activación química se basa en la deshidratación de la materia prima, mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 a 600 °C.), ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón (ver figura 3.18). Los agentes químicos normalmente utilizados son el ácido fosfórico, el cloruro de zinc y el ácido sulfúrico (17).

El precursor, normalmente un material ligno-celulósico como madera, se impregna con un agente químico, preferentemente ácido fosfórico (aunque también se puede utilizar cloruro de cinc), y el material impregnado se calienta en un horno a 500-700°C. El carbón resultante se lava profundamente para eliminar los restos del agente químico usado en la impregnación (57).



FIG. 3.18 PROCESO DE ACTIVACIÓN QUÍMICA

(Fuente: <http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>)

3.2.9 APLICACIONES DEL CARBÓN ACTIVADO

Entre las principales aplicaciones del Carbón Activado están:

- ↻ Tratamiento de aguas residuales
- ↻ Potabilización de agua
- ↻ Deodorización y decoloración de líquidos (jugos, vinos, vinagres, destilados)
- ↻ Decoloración de agua
- ↻ Retención de contaminantes orgánicos como solventes y fenoles, producto de la descomposición de desechos animales y vegetales
- ↻ Eliminación de los trihalometanos formados de la reacción entre el cloro libre y la materia orgánica disuelta en el agua
- ↻ Purificación de medicamentos
- ↻ Clarificación de mieles (Industria Dulcera)
- ↻ Clarificación de aceites
- ↻ Retención de excesos de Flúor en agua utilizada especialmente en la industria alimenticia (embotelladoras, cervecerías, productos lácteos, potabilizadoras estatales y municipales), para obtener niveles dentro de la norma.
- ↻ Eliminación de sabor, olor y ozono del agua
- ↻ Remoción de sólidos suspendidos
- ↻ Purificación de aire
- ↻ Purificación de gases industriales (20)

3.2.10 REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

Los lechos de carbón activo, van perdiendo capacidad de adsorción a medida que el propio carbón va saturándose de las sustancias adsorbidas, llegando a un punto de ruptura tal que habrá que tomar la decisión de proceder a su regeneración, para lo cual hay que extraer este carbón y trasladarlo a la instalación de regeneración correspondiente.

El método de regeneración más extendido es el térmico, mediante hornos rotatorios o fijos con paletas giratorias de múltiples etapas, donde el carbón es movido a contracorriente con una mezcla de gases de combustión y vapor supercalentado y en otras etapas de

calentamiento van eliminándose el monóxido de carbono e hidrógeno producidos en las reacciones de regeneración, pasando el carbón finalmente hacia la salida del horno. Se suele obtener entre el 90 al 95% del carbón introducido. La regeneración térmica del carbón, le restituye unas propiedades muy similares a las del carbón original.

Las etapas térmicas de regeneración pueden fijarse en el siguiente orden:

- ↻ Desecación a una temperatura inferior a 100° C.
- ↻ Desorción a una temperatura entre 100 y 65° C, expulsándose aquí los compuestos volátiles y quemándose otros compuestos orgánicos.
- ↻ Gasificación a una temperatura entre 650 y 1050° C. En la que los vapores y residuos producidos en las etapas anteriores son expulsados de los poros.

Las ventajas de la regeneración son, principalmente, que se reduce el costo para el usuario y se reduce considerablemente el problema de la eliminación o almacenamiento del material gastado. La regeneración puede realizarse “in situ”, en la propia instalación del usuario o, más frecuentemente, en los sistemas de regeneración de los propios fabricantes.

El método más simple de regeneración es la desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico o por desgasificación. Lo que se suele hacer es pasar una corriente de vapor de agua sobrecalentado o de gas inerte a alta temperatura a través del lecho de carbón; este procedimiento es la base del proceso de recuperación de disolventes y del sistema PSA (pressure swing adsorption) utilizado en la separación de mezclas de gases. Aunque cualquier tipo de horno es adecuado para la regeneración, los tipos preferidos por la mayoría de las industrias son el de solera múltiple o el rotatorio. (68)

Existe otro método de regeneración del lecho de adsorción, y consiste en un proceso de calentamiento del lecho con nitrógeno caliente en circuito cerrado, junto con la desorción bajo vacío, para obtener una eliminación significativa de los compuestos adsorbidos. Simultáneamente se utiliza la energía del nitrógeno líquido gasificado, recuperado como gas para utilizarlo en el circuito de regeneración.

La utilización de nitrógeno en sustitución del vapor evita la formación de enormes cantidades de aguas residuales que habrían de ser tratadas. El impacto global sobre el medioambiente prácticamente nulo.

Se evita la presencia de oxígeno o agua en la fase de calentamiento de los materiales adsorbentes y en los productos adsorbidos, incrementando la vida útil de los adsorbentes y evitando la oxidación o hidrólisis de los productos adsorbidos. Estos productos adsorbidos y

recuperados, no contaminados debido a la presencia de agua u otras sustancias, son de mejor calidad. (15)

En casos en los que no se considere la regeneración del adsorbente, se deberá disponer del mismo de acuerdo a la legislación y manejarlo como un residuo peligroso.

3.2.11 DISPOSICIÓN FINAL DE ADSORBENTES

Al agotarse la posibilidad de regeneración de los adsorbentes, es necesario realizar la disposición final de los mismos. Los métodos de Disposición Final más conocidos son:

- ↗ Incineración
- ↗ Producción de Compost
- ↗ Relleno Sanitario

INCINERACIÓN. La incineración es el Método de Tratamiento más antiguo y el más usado en algunos países de Europa, donde en muchos casos la falta de espacio y terrenos apropiados obligan a emplearlo.

Los objetivos principales de este tratamiento son la reducción de volumen y del peso de la masa, así como la transformación de la basura en materiales relativamente no combustibles, inodoros, homogéneos, de mejor aspecto y sin valor para el desarrollo de plagas y animales.

En la incineración, aún cuando se consigue la reducción del volumen la combustión no es controlada, así como tampoco se reducen las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Este método se usa principalmente en los botaderos abiertos y representa muchos peligros, especialmente para el personal que normalmente se encuentra en estos sitios, además de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

PRODUCCIÓN DE COMPOST.- "Compost" es un producto relativamente estable y homogéneo. El compost es uno de los productos resultantes de tratamiento y manejo especializados de basuras y/o estiércoles y/o otros materiales desechados. Los tratamientos o procesos conducentes a la producción de compost se basan en la habilidad de preparar o acondicionar la basura y desechos, de tal manera que se induzca el establecimiento de la actividad microbiológica dirigida al metabolismo controlado de los materiales putrescibles presentes en las basuras y desechos. Esto, con el fin de producir un material inofensivo y útil.

RELLENO SANITARIO.- Es una técnica de eliminación final de residuos sólidos en el suelo (incluidos algunos lodos) que no causa molestias a la comunidad ni riesgos para la salud tanto durante su operación como después de terminado. La técnica se basa en el principio de compactar la basura en capas cubriendo cada capa con material adecuado conforme avanza la operación.

Ventajas del Relleno Sanitario:

- ↻ Es con frecuencia el sistema de eliminación de desechos sólidos más económico.
- ↻ La inversión inicial es baja comparada con la de otros métodos de eliminación.
- ↻ En el relleno sanitario se puede eliminar toda clase de basuras.

Desventajas del Relleno Sanitario:

- ↻ Posible dificultad de conseguir el terreno adecuado.
- ↻ Facilidad de transformarse en botadero abierto.
- ↻ Necesita permanente supervisión.

Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados. Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar y anticipar un eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de mala calidad. (63,64)

3.3 GENERALIDADES DEL MINERAL PERLITA

La perlita es una roca volcánica ácida, con aspecto vítreo que tiene un contenido de agua combinada de 2% hasta 5%.

La perlita, como un término petrográfico, se aplica a un vidrio volcánico que tiene una estructura en forma de cebolla, la cual es visible a simple vista o en algunos casos bajo el microscopio. Como producto comercial, se define como roca volcánica ácida que tiene la propiedad de inflarse cuando se calienta rápidamente. Hay diferencia entre la perlita cruda (ver Fig. 3.19), que es la natural y la perlita expandida, la cual es el producto procesado. Se considera a la perlita como formada debido a la hidratación de obsidiana u otro vidrio volcánico; como riolitas o dacitas, por asimilación secundaria de agua a través de un proceso llamado "HIDRATACION POSTMAGMATICA".

Las fuentes de hidratación pueden ser: La lluvia, nieve, aguas subterráneas y marinas, éstas son introducidas a la roca por medio de un desplazamiento interno en ella.



FIGURA 3.19 PERLITA CRUDA (Fuente: <http://www.perfiltra.com/perlitas.htm>)

Como rocas vítreas las perlitas contienen agua. Según el contenido de agua se distinguen:

- ↻ Obsidiana 1 - 2 % de agua
- ↻ Perlita 3 - 5 % de agua
- ↻ Retinita 5 - 8 % de agua (1)

3.3.1 UTILIZACION DE LA PERLITA EXPANDIDA

Una propiedad excepcional de la perlita es que se expande a más de veinte veces su volumen original cuando es calentada hasta su punto de ablandamiento. Este proceso de expansión es causado por la presencia de agua dentro del mineral crudo. Cuando éste es calentado aproximadamente a 900 ° C, el agua atrapada se vaporiza y obliga al mineral ablandado a expandirse. (Ver Tabla 3.5).

TABLA 3.5 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PERLITA EXPANDIDA

Color	Blanco
Índice de Refracción	1.5
Humedad libre (máx).	0.5 %
pH	6.5 -8.0
Densidad Volumétrica	32 – 400 kg/m ³
Punto de Expansión	1600 – 2000 °F
Punto de Fusión	2300 – 2450 °F
Calor Específico	0.2 cal/g°C
Conductividad Térmica	0.3 BTU-Pulg/hrft ² °F
Solubilidad	Soluble en álcali concentrado caliente y en HF
Moderadamente soluble (menos del 10 %)	En NaOH 1N
Ligeramente soluble (menos del 3%)	Ácidos Inorgánicos 1 N
Muy poco soluble (1%)	Agua o ácidos débiles

Fuente: Amaya Dubón, Bernardo et al.

El campo de la utilización de la perlita es amplio; pero al analizar datos se da una cuenta de que el uso de la perlita en la mayoría de los países se concentra en un 85 -90% en la industria de la construcción, el 10-15% restante se reparte en una gran cantidad de consumidores, en la industria química, agrícola y en la industria de bebidas.

La enumeración siguiente muestra la utilización de perlita expandida: Construcciones, Medios auxiliares para filtros, Horticultura, Artículos de limpieza, Material de relleno, Productos aislantes refractarios cerámicos, El aislamiento de temperaturas muy bajas, Agregados para arenas de fundición, Portador para insecticidas y abonos Purificación de agua (1)

3.3.2 YACIMIENTOS DE PERLITA EN EL SALVADOR

Todos los yacimientos conocidos afloran al norte de la línea, entre los lagos Coatepeque— Ilopango—Olomega y forman una faja amplia de 30 hasta 40 Km. de ancho que atrevese todo El Salvador, del poniente al oriente.

Hasta hoy solamente se conoce un yacimiento que no está ubicado dentro de esta faja, la cual está esencialmente ubicada entre la cordillera de la costa y las rocas volcánicas viejas en la montaña del norte del país. (1)

3.3.3 EVALUACION DEL MINERAL PERLITA COMO ADSORBENTE

En la evaluación de un adsorbente es necesario cuantificar, antes y después, el adsorbato contenido en la solución a tratar; estas pruebas se realizan en columnas verticales cilíndricas y se hacen por lo general por la acción de la gravedad. (1)

El material de perlita expandida muestra el comportamiento típico de un adsorbente, y podría ser usado como sustituto del carbón activado cuando no se necesite una alta calidad decolorante y se requiere incrementar la velocidad del flujo.

En procesos que se realizan por acción de la gravedad no se debe usar tamaño fino de partículas, ya que estos dan una baja velocidad. Debido a su abundancia, la perlita expandida podrá ser utilizada en procesos de adsorción que requieran grandes cantidades de material adsorbente o en procesos en los cuales exista contaminación y sea necesaria la completa sustitución del mismo. (1)

3.3.4 VENTAJAS DE UTILIZACION DE LA PERLITA

Algunas ventajas que traería al país el aprovechamiento industrial de un recurso natural como la perlita, son las siguientes:

- ↗ Desarrollo Industrial
- ↗ Ocupación de mano de obra
- ↗ Ahorro de divisas por la no importación de materiales similares.
- ↗ Obtención de divisas por materiales exportables. (1)

3.4 GENERALIDADES DE LA PIEDRA VOLCÁNICA

La piedra volcánica existente en El Salvador puede clasificarse como de la serie basáltica en base a su contenido de sílice (más de 50 % P/P). Esto justifica su utilización en pruebas de reducción de contaminantes vía intercambio iónico. (3). En la Tabla 3.6 se muestra la composición química de la piedra volcánica del Volcán de Quezaltepec y San Miguel. (4)

TABLA 3.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PIEDRA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN DE QUEZALTEPEC Y SAN MIGUEL

ELEMENTO	OXIDO	POCENTAJE DE ÓXIDO PIEDRA DE QUEZALTEPEQUE	PORCENTAJE DE ÓXIDO PIEDRA DE SAN MIGUEL
Si	SiO ₂	51.360	47.080
Al	Al ₂ O ₃	15.120	19.278
Fe	Fe ₂ O ₃	16.016	10.468
Ca	CaO	1.769	3.598
Mg	MgO	1.726	2.756
Na	Na ₂ O	3.687	2.835
K	K ₂ O	1.603	0.844
Pérdidas por ignición		1.510	0.875
Total		92.791	88.834

Fuente: López Torres. 1986.

CAPITULO IV

4.0 MUESTREO DE AGUA LLUVIA

La técnica del muestreo se basa en que las muestras de agua lluvia captadas sean representativas de las zonas en estudio. Es de especial atención que dicho recurso no es utilizado para consumo humano por parte de los pobladores del lugar, por lo cual se desea no solo determinar un método de descontaminación fisicoquímica del agua que precipita, sino que además plantear a las personas una la ingesta de agua lluvia como alternativa saludable, de bajo costo, abundantes y de fácil acceso.

Para la realización de la etapa de muestreo de agua lluvia en la presente investigación se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- ↪ Determinación de las zonas de estudio
- ↪ Visita de campo a las comunidades seleccionadas
- ↪ Selección de los puntos de muestreo
- ↪ Ubicación del equipo colector
- ↪ Diseño del equipo colector
- ↪ Diseño del material y equipo para la toma de muestra
- ↪ Frecuencia del muestreo
- ↪ Transporte de las muestras

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DEL AGUA LLUVIA

La selección de las áreas de toma de muestra de agua lluvia para ser sometidas a un proceso de descontaminación fueron seleccionadas de la región sur del departamento de La Libertad.

La delimitación de la zona de muestreo se realizó de acuerdo a los siguientes aspectos:

- ↪ Comunidades que se encuentren contempladas dentro del área de trabajo de la Fundación Asociación para la para la Cooperación y el Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES) La Libertad
- ↪ Comunidades que se encuentren geográficamente próximas entre sí.
- ↪ Comunidades que no posean red de distribución de agua potable y/o cuenten con un sistema deficiente que no abastezca sus necesidades de consumo.
- ↪ Comunidades que posean tanques de captación de agua lluvia.

- ↗ Comunidades que se encuentren organizadas y representadas por medio de una directiva.
- ↗ Comunidades que presenten disponibilidad de participación activa con proyectos relacionados con el agua.

Tomando en cuenta los criterios antes mencionados las comunidades seleccionadas fueron las siguientes:

- ↗ Comunidad San Luis El Coyolar
- ↗ Comunidad El Mango

4.2 VISITAS DE CAMPO A LAS COMUNIDADES SELECCIONADAS

Las visitas de campo son útiles para conocer la situación física en que se encuentran las comunidades tanto en cuanto a su infraestructura como también a la situación socio-cultural de sus pobladores, en lo que respecta a los requisitos básicos que deben cumplir para poder participar de manera conjunta en el presente estudio.

4.2.1 VISITA DE CAMPO A COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

La comunidad cuenta con un nivel educativo promedio, por lo cual no todas las personas están capacitadas para poder formar parte de una investigación de esta naturaleza. Sin embargo la preocupación por el abastecimiento de agua a la vivienda es un problema abordado por todos los pobladores sin importar el género al que pertenezcan.

El sistema de captación de agua lluvia se describe a continuación:

El sistema cuenta con un tanque de elaborado de ferrocemento, con una capacidad de almacenamiento de 10 m³, el tanque es alimentado tras caer el agua lluvia en el techo de lámina de las casas y ser conducido por medio de una canaleta elaborada del mismo material. Luego la canaleta conduce el agua hacia una tubería de plástico. El tanque cuenta en su parte superior con una abertura de alrededor de 0.5 metros de diámetro, el cual es cubierto con un plástico por parte del propietario una vez finalice la lluvia. Para extraer el agua, el tanque está provisto de una válvula que puede ser de hierro o de plástico como lo muestra la figura 4.1



FIGURA 4.1 TANQUE DE CAPTACION DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR. (Fuente: Propia)

4.2.2 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD ELMANGO

La comunidad cuenta con un nivel educativo promedio. El sistema de captación de agua lluvia cuenta con un tanque de elaborado de ferrocemento, con una capacidad de almacenamiento de 10 m^3 , El tanque es alimentado tras caer el agua lluvia en el techo de lámina de las casas, y ser colectada en una canaleta de lámina. Posteriormente el agua que cae de la canaleta es conducida hacia el tanque en la mayoría de los casos por medio de una lámina semi-doblada. El tanque cuenta en su parte superior con una abertura de alrededor de 0.5 metros de diámetro, el cual es cubierto con un plástico por parte del propietario una vez finalice la lluvia. Para extraer el agua, el tanque está provisto de una válvula que puede ser de hierro o de plástico, como lo muestra la figura 4.2



FIGURA 4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD EL MANGO (Fuente: Propia)

4.3 EQUIPO PARA RECOLECCIÓN Y MEDICIÓN DE CAMPO DE MUESTRAS DE AGUA LLUVIA.

La toma de muestras de agua lluvia para análisis fisicoquímicos en especial para la medición de nitratos, sulfatos, cloruros y dureza, se complica puesto que requiere que las muestras de agua sean tomadas y luego enfriadas hasta una temperatura de alrededor de 4°C, lo cual resulta dificultoso de ser llevado a cabo por parte de los habitantes del lugar especialmente los pertenecientes a la comunidad El Mango, debido a que esta no cuenta con servicio de electricidad, en el caso de San Luis El Coyolar que si cuenta con el servicio ya mencionado, el problema se presenta debido a la fluctuación con que lo reciben, aunado a la dificultad ya expuesta también se tiene la lejanía de los lugares a los cuales se acceden tras recorrer varios kilómetros de calles en muy mal estado.

Por ello únicamente los análisis que no requieren de la condición antes mencionada pueden ser llevados de manera inmediata, los cuales son Ph, milímetros precipitados y temperatura.

El equipo de mediciones de campo consta de las siguientes características:

- ↻ El tipo de recipiente establecido para análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados, de acuerdo a la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.99
- ↻ Material no contaminante
- ↻ El volumen del equipo colector y de muestreo con capacidad adecuada a la investigación
- ↻ Que el equipo colector fuera
- ↻ Equipo de fácil y seguro manejo
- ↻ De fácil obtención y de bajo costo.

El siguiente material se proporcionó a los habitantes de la comunidad que colaboró en cada punto de muestreo.

- ↻ Recipiente colector de agua lluvia
- ↻ Recipiente para toma de muestras de agua lluvia
- ↻ Rejilla plástica
- ↻ Zaranda de plástico
- ↻ Termómetro
- ↻ Papel pH
- ↻ Manual del muestreador
- ↻ Regla graduada
- ↻ Lapicero

4.4 DESCRIPCIÓN DEL RECIPIENTE COLECTOR Y DE MUESTREO DE AGUA LLUVIA

El recipiente colector es de material plástico, con capacidad de almacenamiento de 105 litros de agua. El recipiente posee un diámetro de 55 cm y una altura 70 cm. Durante la lluvia se coloca un cedazo plástico sobre el recipiente para evitar contaminación de hojas u otros objetos. Una vez finalizada ésta se coloca la tapadera sobre el recipiente, esto se presenta en la figura 4.3



FIGURA 4.3 RECIPIENTE COLECTOR DE AGUA LLUVIA
(Fuente: Propia)

Para la toma de muestras para análisis del agua lluvia se utilizó un recipiente cuyo material es plástico y con una capacidad de 10 litros. El recipiente para la toma de muestras de agua lluvia tiene una altura de 19.5 cm, una profundidad de 15 cm y ancho de 29 cm. Durante la lluvia el colector era provisto de una rejilla de plástico la cual era sustituida por la tapa del recipiente al finalizar la lluvia, lo cual se muestra en la figura 4.4



FIGURA 4.4 EQUIPO DE MUESTREO DE AGUA LLUVIA
(Fuente: Propia)

Las características que deben cumplir los puntos de muestreo en cada una de las comunidades son:

- ↻ Los puntos seleccionados deben ser de fácil acceso y encontrarse fuera del alcance de percibir contaminación por parte de animales.
- ↻ El lugar debe disponer de zonas libres, para facilitar la ubicación del colector.
- ↻ Se debe monitorear la forma en que proceden los habitantes que participan en la investigación, al menos cada quince días.
- ↻ Los puntos seleccionados deben ser representativos de la zona a caracterizar.

La selección y ubicación de los recipientes de colección y muestreo de agua lluvia en la comunidad San Luis el Coyolar se muestran en la tabla 4.1, y 4.2, además por ser esta una comunidad pequeña se seleccionaron 2 puntos de muestreo.

TABLA 4.1 DISTRIBUCION DE LOS RECIPIENTES DE MUESTREO EN COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

PUNTO DE MUESTREO (NOMBRE ASIGNADO)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ZONA REPRESENTADA
<p>PUNTO 1</p> 	COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO SOBRE TECHO DE VIVIENDA	COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR, LA LIBERTAD
<p>PUNTO 2</p> 	COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR	COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO SOBRE TECHO DE VIVIENDA	COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR, LA LIBERTAD

Fuente: Propia

TABLA 4.2 DISTRIBUCION DE LOS RECIPIENTES COLECTORES EN COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

PUNTO DE MUESTREO (NOMBRE ASIGNADO)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ZONA REPRESENTADA
<p>PUNTO 1</p> 	<p>COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR</p>	<p>COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO EN PATIO DE VIVIENDA</p>	<p>COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR, LA LIBERTAD</p>
<p>PUNTO 2</p> 	<p>COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR</p>	<p>COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO SOBRE TANQUE DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA</p>	<p>COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR, LA LIBERTAD</p>
<p>TESTIGO</p> 	<p>COL. SANTISIMA TRINIDAD AYUTUXTEPEQUE</p>	<p>RECIPIENTES COLECTORES EN PATIO DE VIVIENDA</p>	<p>SAN SALVADOR</p>

Fuente: Propia

La selección y ubicación de los recipientes de colección y muestreo de agua lluvia en la comunidad El Mango se muestran en la tabla 4.3 y 4.4. Por lo cual se eligieron 2 puntos de muestreo.

La ubicación de los recipientes de muestreo de agua lluvia en la Comunidad el Mango se muestra en la tabla 4.3

TABLA 4.3 DISTRIBUCION DE LOS RECIPIENTES DE MUESTREO EN COMUNIDAD EL MANGO

PUNTO DE MUESTREO (NOMBRE ASIGNADO)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ZONA REPRESENTADA
<p style="text-align: center;">PUNTO 1</p> 	<p style="text-align: center;">COMUNIDAD EL MANGO</p>	<p style="text-align: center;">COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO EN TECHO DE VIVIENDA</p>	<p style="text-align: center;">COMUNIDAD EL MANGO, LA LIBERTAD</p>
<p style="text-align: center;">PUNTO 2</p> 	<p style="text-align: center;">COMUNIDAD EL MANGO</p>	<p style="text-align: center;">COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO EN TECHO DE VIVIENDA</p>	<p style="text-align: center;">COMUNIDAD EL MANGO, LA LIBERTAD</p>

Fuente: Propia

La distribución de los recipientes para la recolección de agua lluvia se presenta en la tabla 4.4

TABLA 4.4 DISTRIBUCION DE LOS RECIPIENTE COLECTORES EN COMUNIDAD EL MANGO

PUNTO DE MUESTREO (NOMBRE ASIGNADO)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ZONA REPRESENTADA
<p>PUNTO 1</p> 	<p>COMUNIDAD EL MANGO</p>	<p>COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO EN PATIO DE VIVIENDA</p>	<p>COMUNIDAD EL MANGO, LA LIBERTAD</p>
<p>PUNTO 2</p> 	<p>COMUNIDAD EL MANGO</p>	<p>COLECTOR PLÁSTICO COLOCADO EN PATIO DE VIVIENDA</p>	<p>COMUNIDAD EL MANGO, LA LIBERTAD</p>
<p>TESTIGO</p> 	<p>COL. SANTISIMA TRINIDAD. AYUTUXTEPEQUE</p>	<p>COLECTORES PLÁSTICOS COLOCADOS EN PATIO DE CASA</p>	<p>SAN SALVADOR</p>

Fuente: Propia

CAPITULO V

5.0 MUESTREO DE AGUA DE POZO

Para la realización de la etapa de muestreo de agua de pozos en la presente investigación se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- ↻ Determinación de las zonas de estudio
- ↻ Visita de campo a las comunidades seleccionadas
- ↻ Selección de los puntos de muestreo
- ↻ Diseño del material y equipo para la toma de muestra
- ↻ Transporte de las muestras

5.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO

La selección de las áreas de toma de muestra de agua de pozo para ser sometidas a un proceso de descontaminación fueron seleccionadas de la región sur del departamento de La Libertad.

La delimitación de la zona de muestreo se realizó de acuerdo a los siguientes aspectos:

- ↻ Comunidades que se encuentren contempladas dentro del área de trabajo de la Fundación CORDES
- ↻ Comunidades que se encuentren próximas entre sí.
- ↻ Comunidades cuyo suelo ha estado sometido a cultivos extensivos comunes, como por ejemplo el algodón.
- ↻ Comunidades cuyos habitantes presenten problemas de salud, que puedan ser relacionadas con la contaminación del agua que consumen.
- ↻ Comunidades que no posean red de distribución de agua potable y/o cuenten con un sistema deficiente que no abastezca sus necesidades de consumo.
- ↻ Comunidades que se encuentren organizadas y representadas por medio de una directiva
- ↻ Comunidades que presenten disponibilidad de participación activa con proyectos relacionados con el agua.
- ↻ Comunidades que se abastecen de agua para consumo a través de pozo

Tomando en cuenta los criterios antes mencionados las comunidades seleccionadas fueron las siguientes:

↗ Comunidad Bocapoza

↗ Comunidad Melara

5.2 VISITAS DE CAMPO A LAS COMUNIDADES SELECCIONADAS

Las visitas de campo a las comunidades seleccionadas permiten tener un conocimiento más amplio sobre los requisitos de los materiales de muestreo a emplear, así como también permiten conocer los tipos de muestras a obtener y la manera en que se pueden contaminar debido a la posición geográfica en la cual se encuentran.

5.2.1 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD BOCAPOZA

La comunidad Bocapoza cuenta con un sistema de abastecimiento de agua que es obtenida a través de una bomba tipo mecate, con una potencia de 15 c.v., construida de hierro. El sistema de distribución de agua se muestra en la figura 5.1



FIGURA 5.1 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AGUA COMUNIDAD BOCAPOZA (Fuente: Propia)

5.2.2 VISITA DE CAMPO A LA COMUNIDAD MELARA

Al igual que la comunidad Bocapoza, Melara se abastece a través de un pozo que cuenta con una bomba que diariamente conduce el agua hasta un tanque de almacenamiento de 150 metros cúbicos, de donde luego a través de una tubería es distribuida a toda la comunidad, a través de un servicio domiciliario, el cual se muestra en la figura 5.2



FIGURA 5.2 BOMBA DE EXTRACCIÓN DE AGUA COMUNIDAD MELARA (Fuente: Propia)

5.3. DESCRIPCIÓN DEL RECIPIENTE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE POZO

Las características del recipiente de almacenamiento de agua de pozo que se tomaron en cuenta fueron:

- ↪ El tipo de recipiente establecido para análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados y pesticidas de acuerdo a la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.99
- ↪ Recipientes que no aportaran contaminación a las muestras, por causa del material del cual estén elaborados.
- ↪ El volumen del recipiente de almacenamiento y de muestreo de tal modo que la cantidad de agua de pozo sea suficiente para la realización de la etapa experimental de la presente investigación.
- ↪ Que el equipo almacenamiento fuera de relativa fácil y segura transportación desde el lugar de en la que se realizó la colección de agua lluvia, hasta las instalaciones en donde se llevaría a cabo la etapa experimental.
- ↪ Que el equipo de almacenamiento y de muestreo fuera nuevo para evitar contaminación hacia la muestra por causa del contenido anterior de este.
- ↪ De fácil obtención y de bajo costo.

El recipiente de almacenamiento es de material plástico, con capacidad de almacenamiento de 105 litros de agua., con un diámetro de 55 cm y una altura de 70 cm, se utilizó el mismo recipiente que en la captación de agua lluvia.

5.4 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA DE POZO

La selección de los puntos de muestreo de agua de pozo para ambas comunidades fue ubicado a la salida de la bomba.

TABLA 5.1 DISTRIBUCION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN COMUNIDAD BOCAPOZA Y MELARA

PUNTO DE MUESTREO (NOMBRE ASIGNADO)	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	ZONA REPRESENTADA
<p>PUNTO 1</p> 	COMUNIDAD BOCAPOZA	MUESTREO DE AGUA A LA SALIDA DE LA BOMBA	COMUNIDAD BOCAPOZA, LA LIBERTAD
<p>PUNTO 2</p> 	COMUNIDAD MELARA	MUESTREO DE AGUA EN GRIFO DE BOMBA	COMUNIDAD MELARA, LA LIBERTAD

Fuente: Propia

5.5 CARACTERÍSTICAS DE DETERMINACIONES ANALITICAS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZO

Las determinaciones analíticas a realizarse en muestras de agua de pozo deben cumplir con las siguientes características:

- ↗ Las variables a seleccionar intervengan en el fenómeno de la contaminación del agua de pozo ya de origen natural o antropogénico
- ↗ Las concentraciones de los contaminantes puedan ser detectadas por el método de análisis empleado, de cuyos resultados dependerá si se propone un método para su remoción y se contemplen en la Norma Salvadoreña para agua potable NSO 13.07.01.99

CAPITULO VI

6.0 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA EN MUESTRAS DE AGUA

De acuerdo a la norma salvadoreña NSO 13.07.01.99, el agua para poder ser utilizada para consumo humano debe cumplir requisitos de calidad, los cuales dependen en general de la fuente de la cual provengan, puesto que están relacionados con el tipo de contaminación que pueden poseer ya sea por la naturaleza del lugar, contaminación antropogénica, etc.

Así para las muestras tanto de agua lluvia como para las muestras de agua de pozo, se deben tomar en cuenta en general los siguientes requisitos:

- ↗ Requisitos de calidad microbiológica
- ↗ Requisitos de calidad fisicoquímica

6.1 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA

Los análisis microbiológicos de las muestras de agua lluvia y en las muestras de agua de pozo se realizaron con el único objeto de caracterizar las muestras, determinando de esta manera si existe o no este tipo de contaminación.

Los parámetros indicadores de la presencia de contaminación microbiológica analizados fueron:

- ↗ Bacterias coliformes totales
- ↗ Bacterias coliformes fecales
- ↗ Escherichia Coli

6.2 REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUIMICA

Los requisitos de calidad fisicoquímica se subdividen en los siguientes grupos:

- ↗ Parámetros de calidad física
- ↗ Parámetros para sustancias químicas
- ↗ Parámetros para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud
- ↗ Parámetros para residuos de plaguicidas (únicamente para las muestras de agua de pozo)

Los parámetros analizados para la presente investigación se mencionan a continuación:

- ↗ CALIDAD FISICA Color Aparente Color Verdadero Conductividad Eléctrica Ph Sólidos Totales Temperatura Turbiedad

↗ SUSTANCIAS QUÍMICA Alcalinidad T. Calcio Cloruros Dureza Total Hierro Total Magnesio Nitratos Sulfatos Sodio Potasio Manganeso T.

↗ SUSTANCIAS QUÍMICA DE TIPO INORGANICO Aluminio Arsénico Boro Cadmio Cromo (Cr+6) Mercurio Plomo

↗ RESIDUOS DE PLAGUICIDAS (MUESTRAS DE AGUA DE POZO) Hexaclorobenceno Lindano Heptaclor Aldrín Heptaclor epóxido Gamma Clordano 2,4 DDE Endosulfán Alfa Colordano Dieldrín 4,4 DDE Endrín Endosulfán II 4,4 DDD 2,4 DDT Diazinón Metil Paratión Malatión Paratión Etión

La cuantificación de los valores de químicos inorgánicos de alto riesgo para la salud se realizaron únicamente con el objeto de caracterizar el agua en cuanto a estos parámetros de tanta incidencia en la salud de las personas. En cuanto a la cuantificación de los valores de los residuos de plaguicidas, su presencia o no determinará la existencia de la propuesta de un método de remoción.

El objeto de la presente investigación es la remoción de los parámetros físicos y de las sustancias químicas, por lo cual se les prestará verdadera atención y serán monitoreadas de acuerdo a los valores que reporten y los recursos con que se cuenten.

Los recipientes para la toma y envío de muestras fueron proporcionados por los laboratorios donde se realizaron los análisis (VER ANEXO 3)

El procedimiento para la toma de muestras tanto microbológica como fisicoquímica se tomó de la norma salvadoreña nso 13.07.0..99.

Un aspecto importante en la toma y envío de muestras son los formularios de datos los cuales dan una mejor idea al analista, del entorno físico que rodea ya sea a los tanques de captación de agua lluvia y/o los pozos. (VER ANEXO 4)

En el caso de la toma y determinación de parámetros físicos in situ como el pH, el volumen precipitado y la temperatura, se utilizó el manual del muestreador del agua lluvia (VER ANEXO 5)

6.3 PLAN DE ANÁLISIS ESTABLECIDO

La periodicidad con que se llevaron a cabo los análisis depende de factores tales como los objetivos del proyecto, la factibilidad para la realización de los análisis de manera inmediata y los recursos con que cuenta la comunidad en donde se localizan los puntos de muestreo.

6.3.1 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA

Los parámetros de calidad microbiológica serán determinados únicamente con el objeto de caracterizar el agua lluvia y el agua de pozo, por lo que fueron analizados una sola vez.

6.3.2 REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICA

Los parámetros de calidad fisicoquímica para sustancias de tipo inorgánico de alto riesgo fueron analizados únicamente para caracterizar la muestra y determinar la existencia de este tipo de contaminación. Los parámetros de calidad física y de sustancias químicas fueron realizados para caracterizar las muestras, a excepción de los siguientes, cuya continuidad se detalla a continuación:

- ↗ pH: Se determinó este parámetro utilizando papel pH, y estuvo a cargo de personas capacitadas de la comunidad.
Frecuencia: Cada vez que colecte agua lluvia.
Número de mediciones: dos al inicio y dos al final

- ↗ Temperatura: La determinación de este parámetro estuvo a cargo de personas capacitadas de la comunidad.
Frecuencia: cada vez que colecte agua lluvia
Número de mediciones: dos al inicio y dos al final

- ↗ Volumen precipitado: Este parámetro no es exigido por la norma salvadoreña.
Frecuencia: Cada vez que colecte agua lluvia
Número de mediciones: dos al inicio y dos al final

- ↗ Cloruros, dureza total, nitratos y sulfatos: Estos parámetros son de interés para la investigación, sin embargo se analizaron un vez en época lluviosa, debido a que las condiciones de la zona no son las mínimas requeridas y el acceso en dicha época resulta casi imposible.

- ↗ Residuos de plaguicidas: La periodicidad con que se determinen estos parámetros dependerá de los resultados de los primeros análisis.

CAPÍTULO VII

7.0 PRODUCCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL A PARTIR DE CONCHA O HUESO DE COCO

De acuerdo a investigación bibliográfica se determinó que el carbón activado para el cual se utiliza como precursor el coco, se extrae de la parte conocida como concha o hueso que constituye el endocarpo del fruto. En general la característica física más importante para el uso del coco como materia prima para la obtención de carbón activado es el grosor del hueso o concha del coco, el cual está relacionado con el grado de madurez de éste.

Las variables que se consideran importantes en la elaboración del carbón activado artesanal a partir de la concha de coco son:

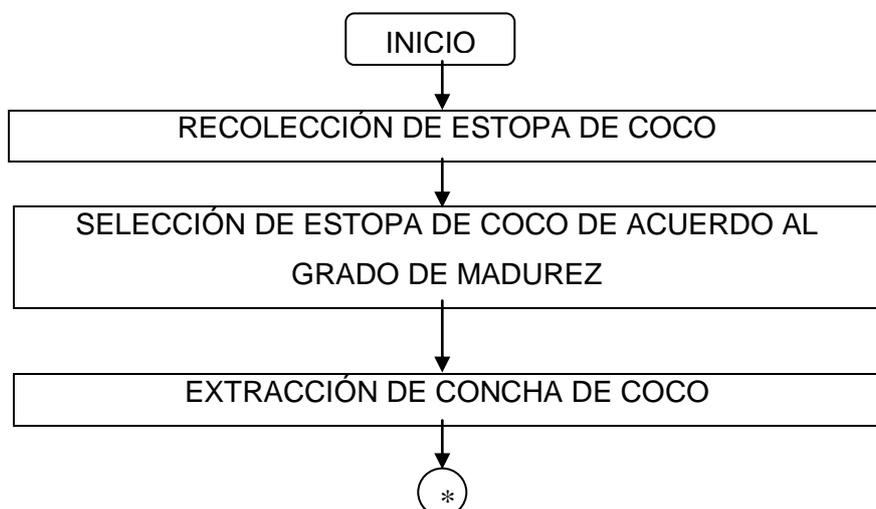
- ↗ El grado de madurez del coco.
- ↗ La variedad a la que pertenece el coco.
- ↗ La temperatura de carbonización.

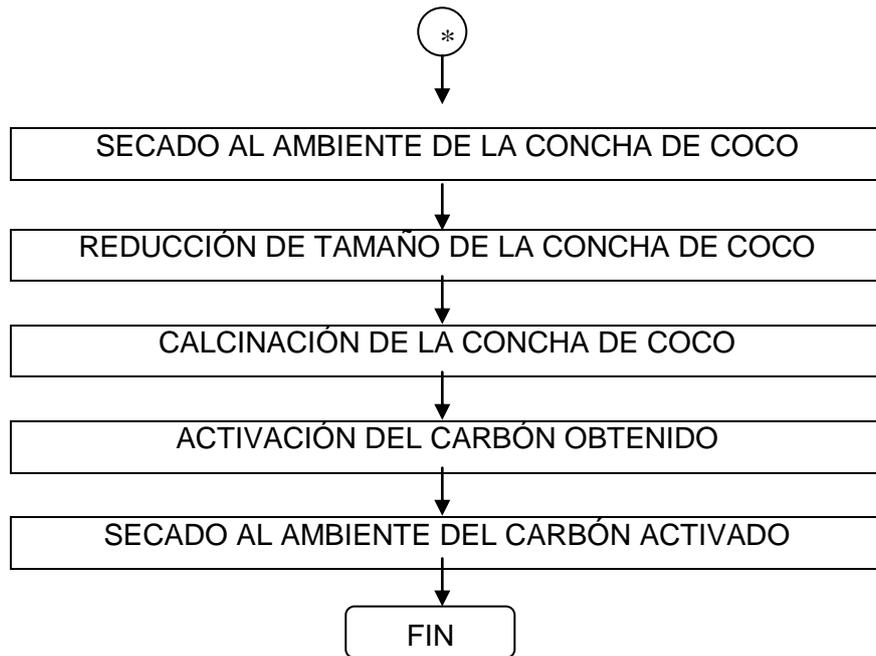
El carbón activado se elaboró en dos etapas:

- ↗ A nivel de planta piloto
- ↗ A nivel artesanal

Para la elaboración de carbón activado a partir de concha de coco a nivel de laboratorio se llevaron a cabo los siguientes pasos:

FLUJOGRAMA DE ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CONCHA DE COCO A NIVEL DE LABORATORIO





7.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE CARBONIZACIÓN DE CONCHA DE COCO

La calcinación de la concha de coco engloba una serie de procesos esquematizados en el flujograma anterior y los cuales pueden ser descritos de forma breve de acuerdo a los procesos y variables que los caracterizan.

7.1.1 RECOLECCIÓN DE LAS ESTOPAS DE COCO

Se gestionó la donación de la estopa de coco con vendedores independientes que se dedican a la comercialización del agua de dicho fruto. Los negocios identificados están ubicados en el municipio de La Libertad, departamento de La Libertad.

7.1.2 SELECCIÓN DE ESTOPAS DE COCO

La estopa de coco obtenido gratuitamente fue seleccionada inspeccionando la facilidad con que puede ser extraída un trozo de concha, si esto se logra fácilmente, la concha está tierna para ser utilizada en la fabricación del carbón activado. Caso contrario, la materia prima cumple la condición para la finalidad antes mencionada. Es importante mencionar que las estopas de coco no deben estar secas, puesto que la obtención de la concha o hueso se vuelve muy difícil.

7.1.3 EXTRACCIÓN DE CONCHA DE COCO

Para obtener el hueso o concha del coco es necesario remover la parte fibrosa o estopa (mesocarpo) que lo rodea externamente y la copra (albumen) que lo cubre internamente. Para el caso de la presente investigación, la concha se obtuvo de los residuos (mesocarpo y

endocarpo) generados de la comercialización del agua de coco, por lo cual la parte fibrosa fue sustraída. Además es necesario limpiar la concha de cualquier residuo de albumen que contenga.

7.1.4 SECADO AL AMBIENTE DE LA CONCHA DE COCO

Para eliminar la mayor cantidad de humedad presente en el hueso o concha de coco, se colocaron en bandejas de acero inoxidable y se expusieron al sol por espacio de 3 – 5 días.

7.1.5 REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA CONCHA DE COCO

La reducción de tamaño se realizó utilizando un martillo. Los fragmentos de la concha de coco tenían un tamaño promedio de 3 cm por lado.

7.1.6 CALCINACIÓN DE LA CONCHA DE COCO.

Para calcinar la concha de coco se elaboró una marcha de laboratorio (Ver Anexo No.6), la cual contempla la realización del proceso a diferentes temperaturas.

7.1.6.1 PRUEBAS PRELIMINARES DE CALCINACIÓN DE CONCHA DE COCO

Para verificar qué tipo de coco resulta más eficiente como precursor del carbón activado artesanal se realizaron pruebas a nivel de laboratorio utilizando una mufla (ver fig. 7.1), con coco maduro y coco tierno según la siguiente tabla:

TABLA 7.1: PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN REALIZADAS EN COCO MADURO Y TIERNO

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO
Coco maduro A	400	½ hora
Coco maduro B	400	1 hora
Coco maduro C	500	½ hora
Coco tierno A	400	½ hora
Coco tierno B	500	½ hora

Fuente: Propia.

En el gráfico 7.1 se muestran los resultados de las pruebas preliminares de carbonización realizadas en coco maduro y tierno para determinar el grado de madurez de la concha de coco a utilizar como precursor del carbón activado artesanal.

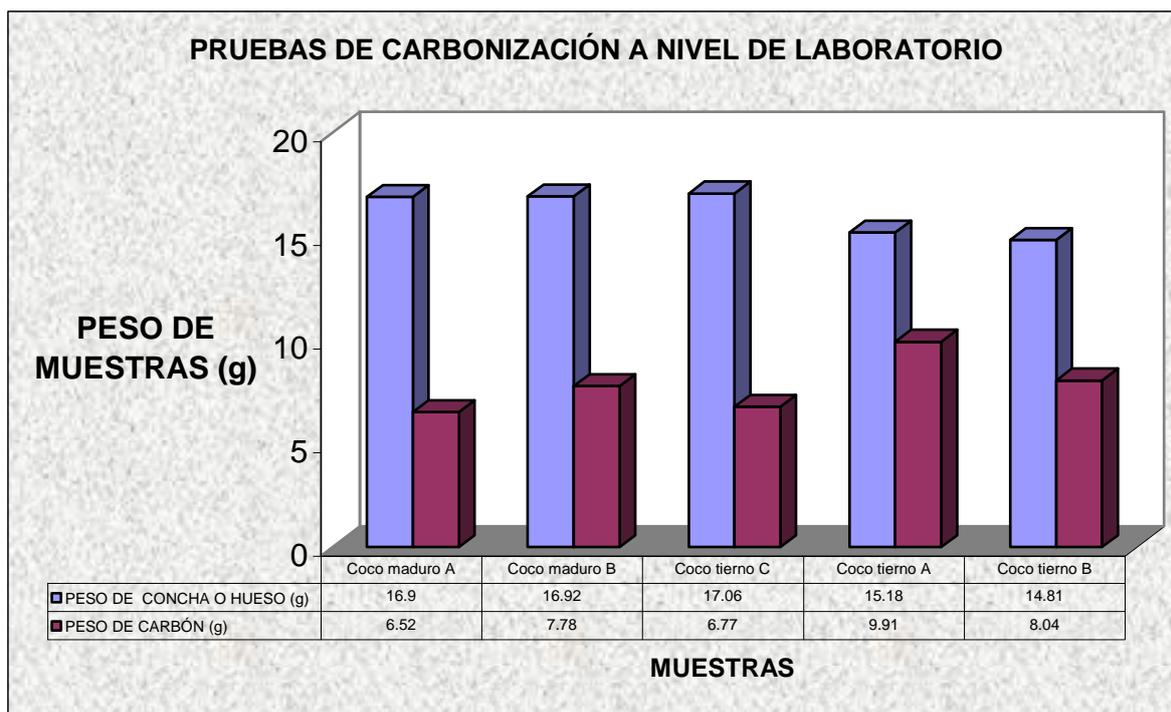


GRÁFICO 7.1: RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN REALIZADAS EN COCO MADURO Y TIERNO. (Fuente: Propia)



FIGURA 7.1: MUFLA UTILIZADA PARA PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO CON EL COCO TIERNO Y MADURO. (Fuente: Propia).

Los rendimientos obtenidos para las pruebas de coco maduro y tierno en las pruebas preliminares de carbonización con el fin de determinar el grado de madurez del precursor para fabricar carbón activado artesanal, se reflejan en el gráfico 7.2:

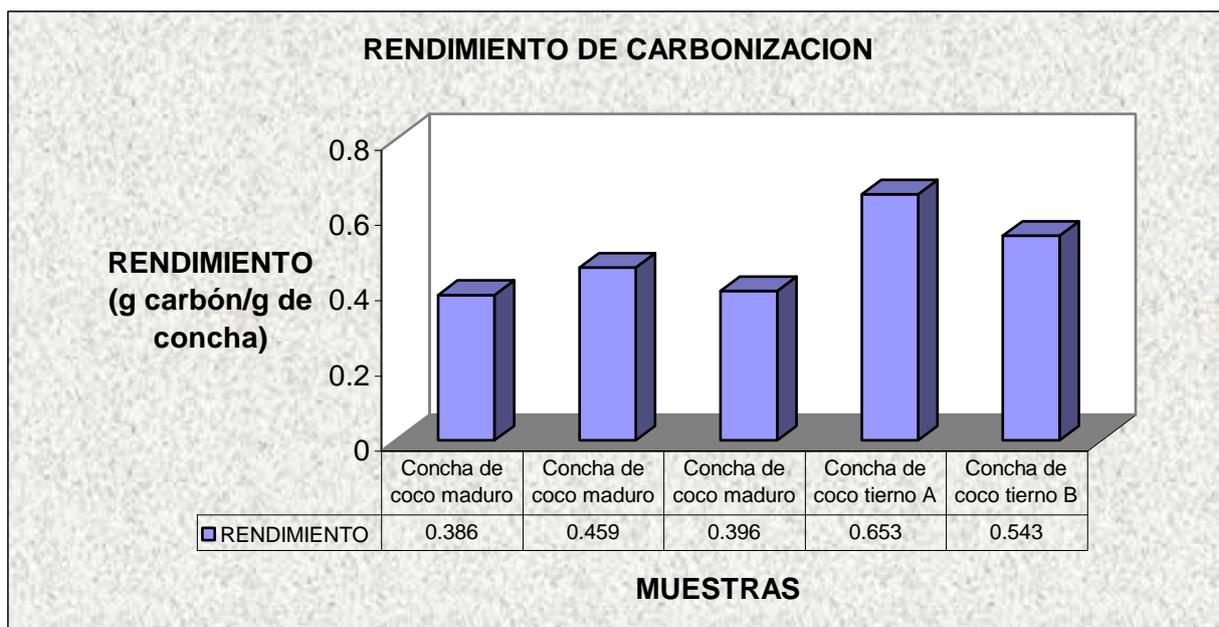


GRÁFICO 7.2: RENDIMIENTOS DE COCO MADURO Y TIERNO EN PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONIZACIÓN. (Fuente: Propia.)

El rendimiento promedio del coco maduro es: 0.414 g carbón/g concha

El rendimiento promedio del coco tierno es: 0.598 g carbón/g concha

Es importante mencionar que el rendimiento promedio de la concha de coco tierno resulta ser mayor de la de coco maduro debido a que la primera presentaba zonas sin carbonizar, resultando por lo tanto un precursor con características ineficientes para el proceso. Debido a esto se optó por la utilización de la concha de coco maduro.

Posteriormente se realizaron una serie de pruebas de carbonización de concha de coco a diferentes temperaturas para la variedad Ato del Pacífico y Enano Malasino.

TABLA 7.2: PRUEBAS DE CARBONIZACIÓN DE COCO MADURO ALTO Y ENANO

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO
Coco alto A	400	½ hora
Coco alto B	500	1 hora
Coco enano A	400	½ hora
Coco enano B	500	1 hora

Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos en las pruebas de carbonización para determinar la variedad de coco a utilizar como precursor del carbón activado artesanal, se reflejan en el gráfico 7.3:

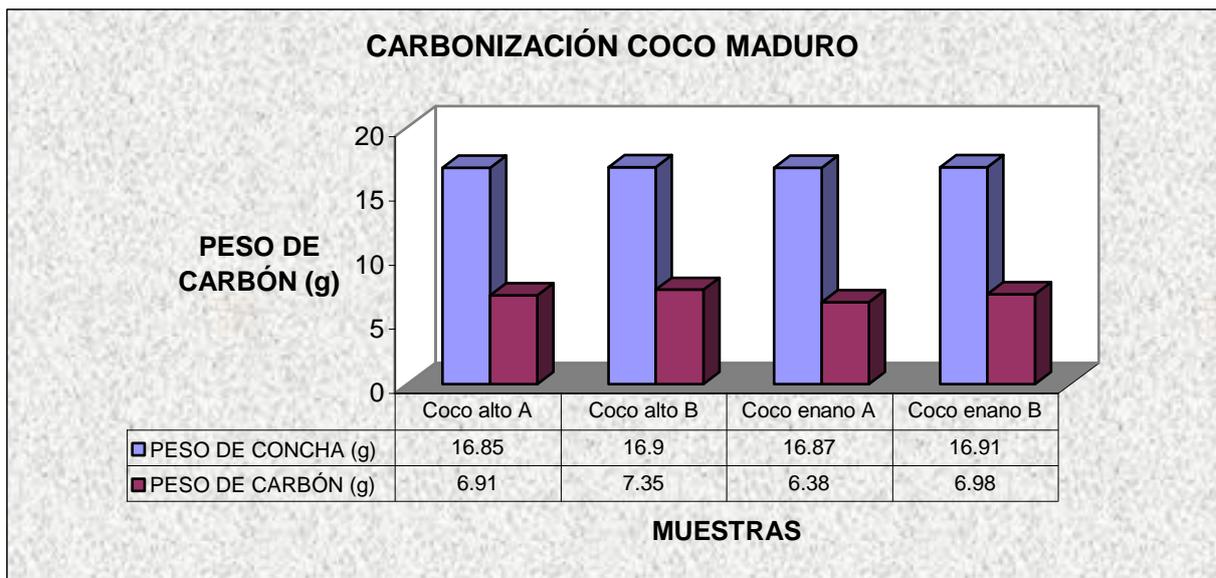


GRÁFICO 7.3: RESULTADOS DE PRUEBAS DE CARBONIZACIÓN DE COCO MADURO ALTO Y ENANO (Fuente: Propia.)

El rendimiento para la variedad alta del pacífico y enano malasino como resultado de la carbonización para determinar cuál de ellas se utilizará como precursor, se presenta en el gráfico 7.4:

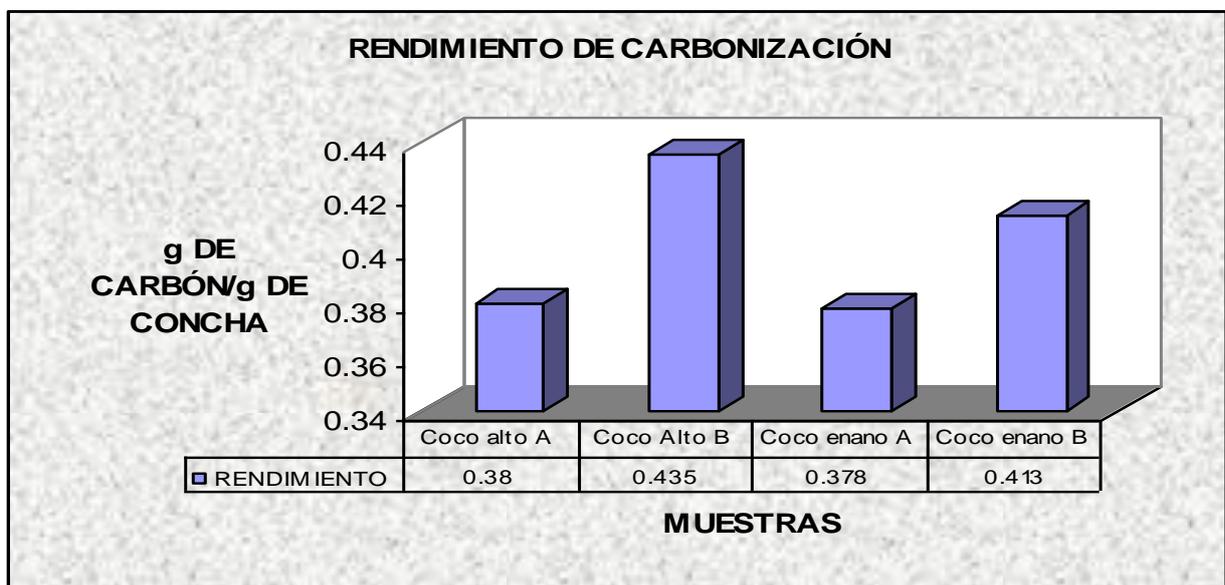


GRÁFICO 7.4: RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE CARBONIZACIÓN DE COCO MADURO Y ENANO. (Fuente: Propia.)

El cálculo de los rendimiento se presenta en la memoria de cálculo anexo 9. Los resultados son:

Para la variedad Alto del pacífico: 0.408 g de carbón/g de concha de coco

Para la variedad Enano malasino: 0.400 g de carbón/g de concha de coco

Pese a que los rendimientos de las dos variedades son aproximadamente iguales, se prefirió llevar a cabo la obtención de carbón a partir de la concha del coco Alto del Pacífico (maduro), basándose la decisión en los siguientes argumentos:

- ↗ Se obtiene un rendimiento aproximadamente igual que el resultante para la variedad enano Malasino.
- ↗ La oferta del coco Alto del Pacífico es mayor que la Enano Malasino, en el área del Municipio de La Libertad.
- ↗ La combustión de la concha de coco Alto del Pacífico genera humo menos irritante para el ojo humano que la variedad Enano Malasino.

Para esta investigación la materia prima para elaborar carbón activado no representó costo alguno, puesto que dicho precursor se obtuvo gratuitamente de los residuos provenientes de la comercialización de agua de coco, realizada por vendedores independientes.

Una vez definidos la variedad y el grado de maduración de la concha de coco, se procedió a determinar la temperatura óptima de carbonización de ésta de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 7.3: PRUEBA PARA DETERMINAR TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACIÓN

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE CALCINACIÓN POR MUESTRA (MINUTOS)		
	A	B	C
300	30	45	60
400	30	45	60
500	30	45	60
600	30	45	60
700	5	15	30
800	5	15	30
900	5	15	30
1000	5	15	30
1100	5	15	30

Fuente: Propia.

En el gráfico 7.5 se presentan los pesos de las muestras de concha de coco para determinar la temperatura óptima de carbonización de la variedad alto del pacífico:

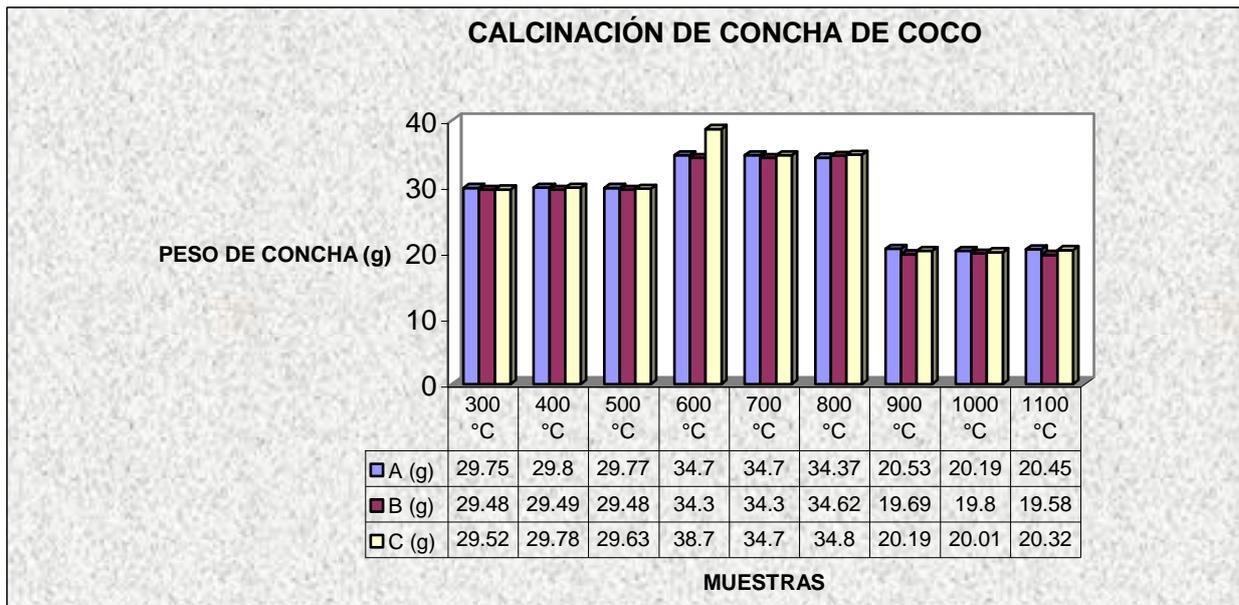


GRÁFICO 7.5: MUESTRAS DE CONCHA DE COCO PARA PRUEBA DE DETERMINACIÓN DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACIÓN (Fuente: Propia.)

En el gráfico 7.6 muestra los pesos de carbón obtenido a partir de la concha de coco alto del pacífico:

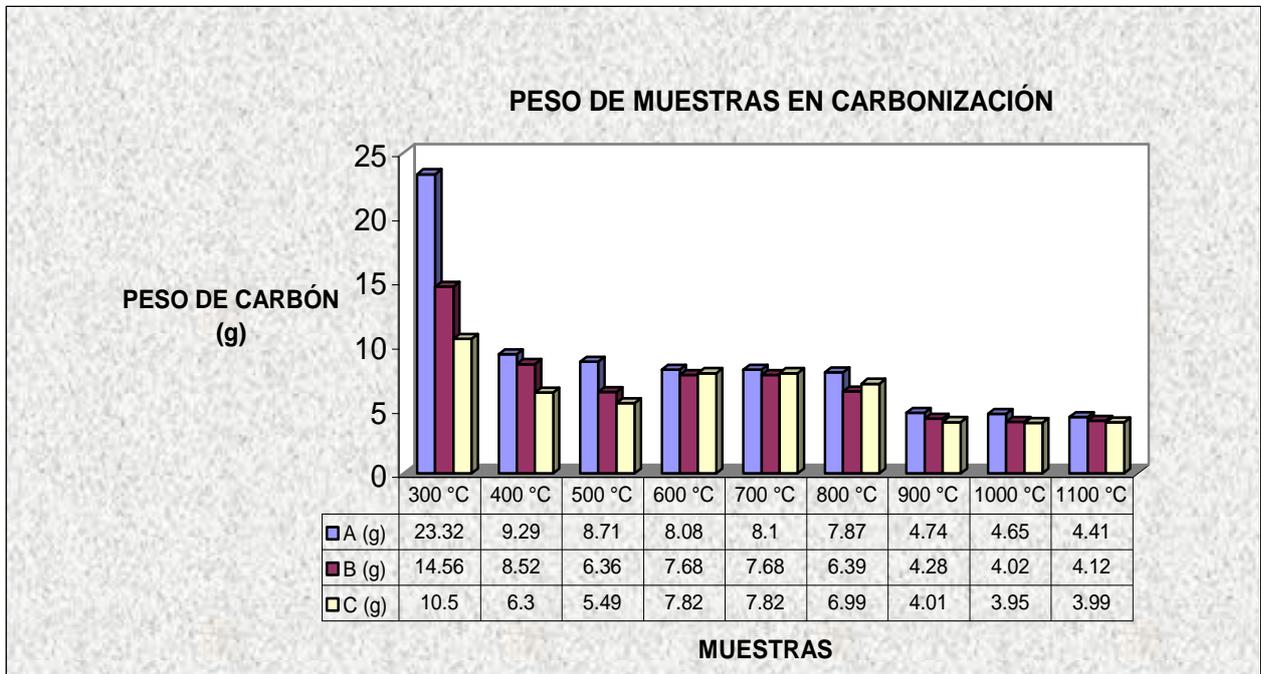


GRÁFICO 7.6: RESULTADOS DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA DE CARBONIZACIÓN. (Fuente: Propia.)

El rendimiento de carbonización en las pruebas para determinar la temperatura óptima de carbonización se muestra en el gráfico 7.7:

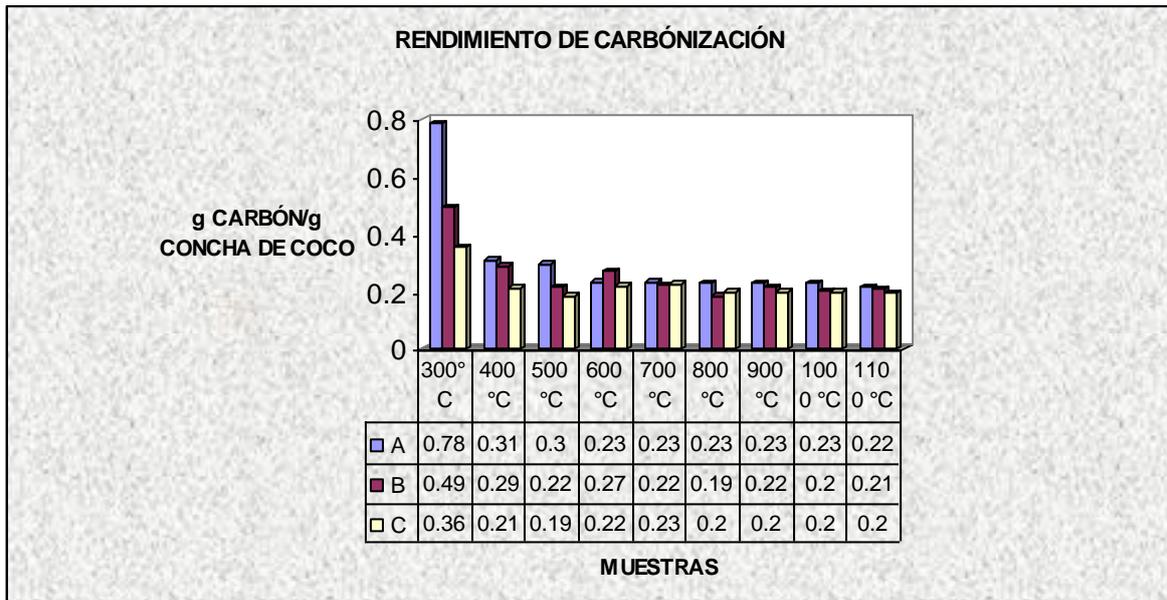


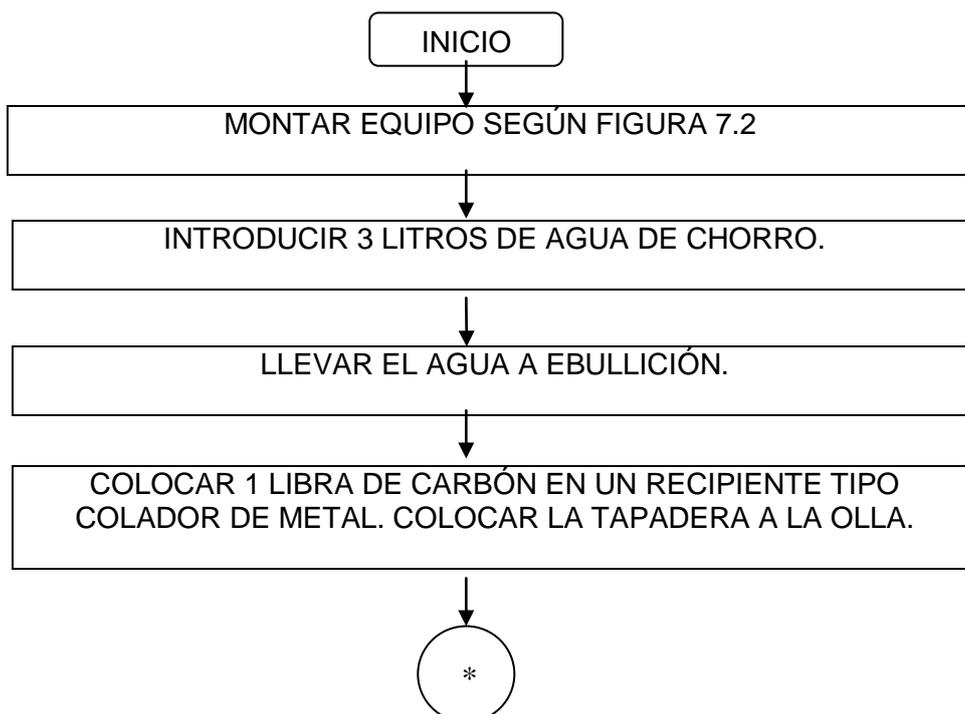
GRÁFICO 7.7: RENDIMIENTO DE CARBONIZACIÓN EN PRUEBA PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA (Fuente: Propia)

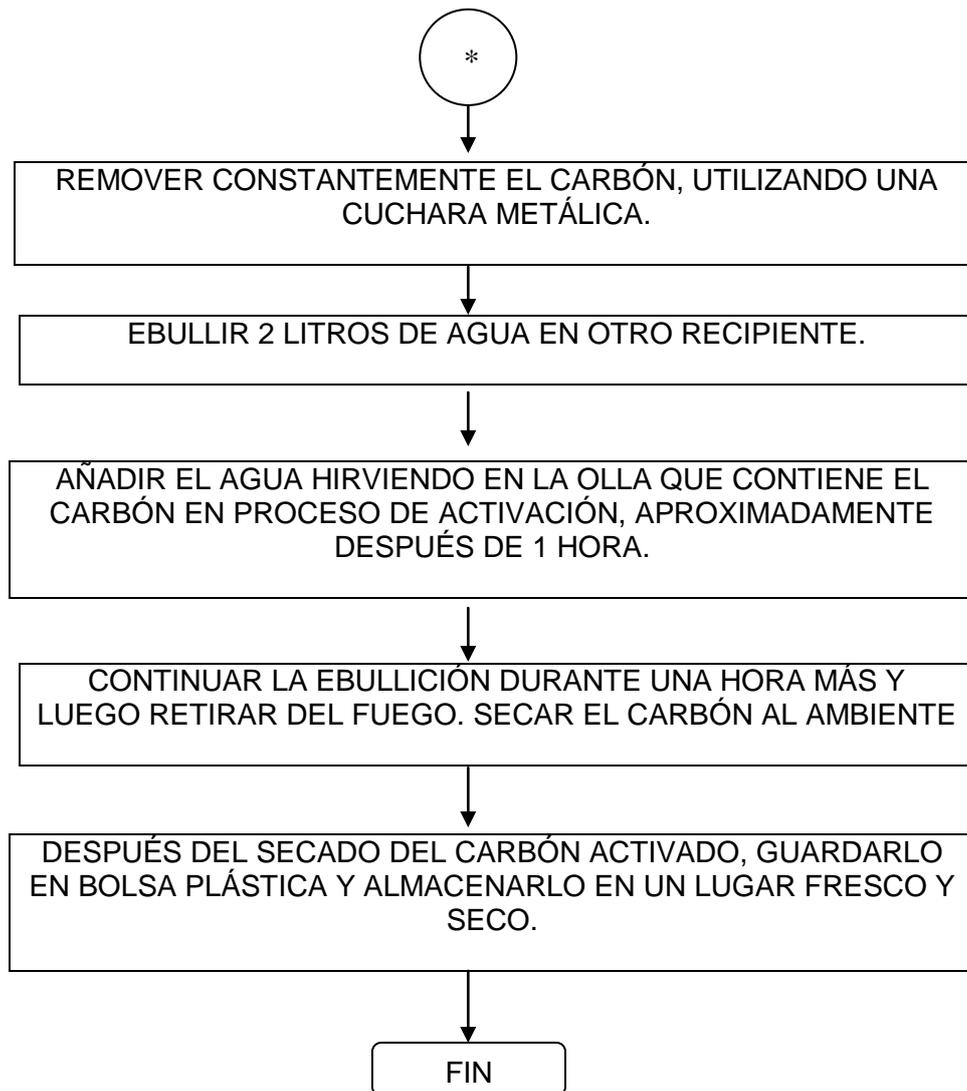
7.2 ACTIVACIÓN DEL CARBÓN DE COCO A NIVEL DE LABORATORIO

Posteriormente se procedió a activar el carbón tomando únicamente las muestras que presentaron una carbonización total, lo cual fue comprobado por observación directa.

A continuación se presenta el flujograma de la activación del carbón de coco a nivel de laboratorio:

FLUJOGRAMA DE ACTIVACIÓN DEL CARBÓN





En las figuras 7.2 y 7.3 se pueden apreciar el proceso de activación del carbón artesanal a nivel de laboratorio y el secado, después de la activación:



FIGURA 7.2 ACTIVACIÓN DE CARBÓN ARTESANAL A NIVEL DE LABORATORIO
(Fuente Propia)



FIGURA 7.3 SECADO AL AMBIENTE DEL CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL DESPUÉS DE LA ACTIVACIÓN. (Fuente Propia)

En la gráfica 7.8 se observa la comparación de pesos de carbón de coco sometido al proceso de activación:

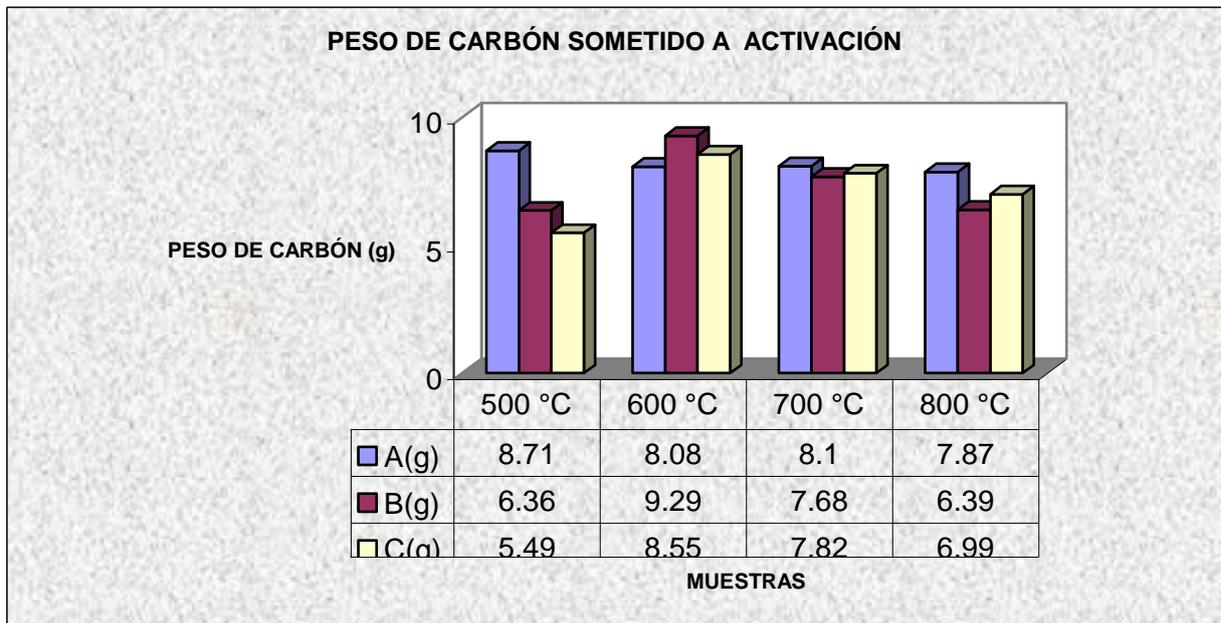


GRÁFICO 7.8: PESO DE CARBÓN SOMETIDO A PROCESO DE ACTIVACIÓN (Fuente: Propia)

Luego de someter las muestras durante 120 minutos a vapor saturado, se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en el gráfico 7.9:

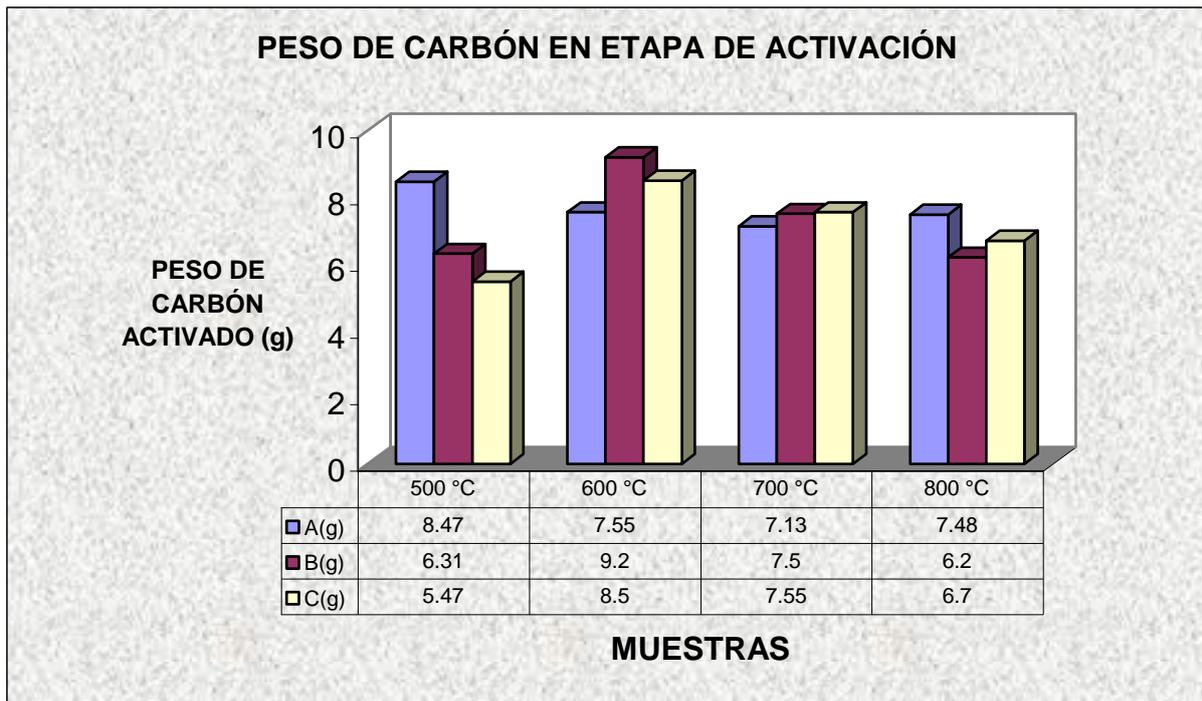


GRÁFICO 7.9: PESO DE CARBÓN ACTIVADO (Fuente: Propia.)

El porcentaje en peso perdido se calcula mediante la siguiente fórmula:

El % W_{perdido} en la activación se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% W_{\text{perdido}} \text{ en activación} = \frac{W_{\text{carbón}} - W_{\text{carbón_activado}}}{W_{\text{carbón}}}$$

Los resultados de % de pérdida de peso se presentan en el gráfico 7.10 a continuación

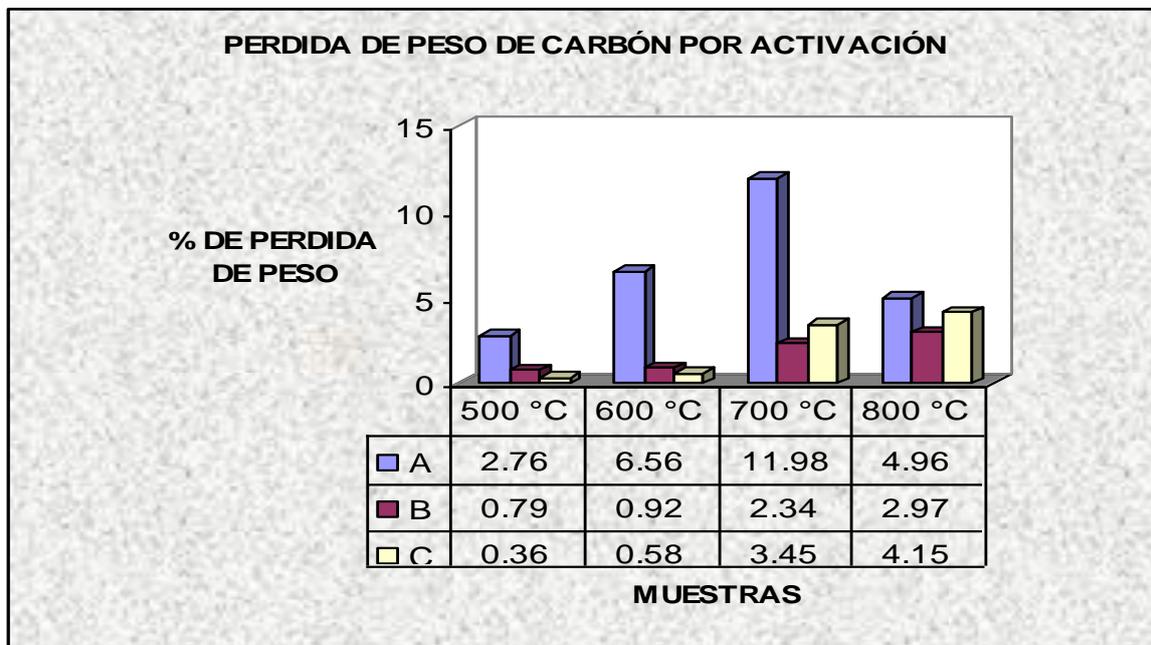


GRÁFICO 7.10: PORCENTAJE EN PESO PERDIDO EN LA ACTIVACIÓN DEL CARBÓN
(Fuente: Propia.)

Los rendimientos de activación para 700°C y 800°C son: 0.939 y 0.959 respectivamente.

7.3 ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A NIVEL ARTESANAL

La elaboración de Carbón Activado artesanal es la adaptación de los procedimientos a nivel de laboratorio a tecnologías apropiadas para realizarse en zonas rurales con personas de escasos recursos económicos.

7.3.1 CARBONIZACIÓN ARTESANAL DE LA CONCHA DE COCO

El carbón activado artesanal fue elaborado utilizando un horno artesanal de media luna, el cual es utilizado en el área rural para la elaboración de pan y quesadillas. Teniendo esto en cuenta, se llevaron a cabo visitas de campo con el objeto de identificar y caracterizar los hornos que serían utilizados en la investigación, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 7.4 CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE MELARA

Horno No.1	
<p>Ubicación: Comunidad Melara, Departamento de La Libertad.</p> <p>Materiales de construcción: tierra blanca, cemento, ladrillo de barro, sal y dulce de panela.</p> <p>Dimensiones: ancho: 2 m, altura: 1.5 m, profundidad: 2 m</p> <p>Uso: Panadería Comercial</p> <p>Combustible: madrecaao, cerezo, caoba, cedro y laurel.</p> <p>Observaciones: El horno está construido dentro de una habitación y no consta de chimenea, lo que ocasiona la acumulación de humo, razón por la cual no se consideró adecuado. El horno es aproximadamente cuadrado.</p>	

Fuente: Propia

TABLA 7.5 CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE SAN LUIS EL COYOLAR

Horno No. 2	
<p>Ubicación: Comunidad San Luis El Coyolar, Departamento de La Libertad.</p> <p>Materiales de construcción: tierra blanca, ladrillo de barro, ladrillo de piso y cemento.</p> <p>Dimensiones: altura: 80 cm, diámetro: 1.20 m, espesor: 6 cm</p> <p>Uso: panadería doméstica eventual</p> <p>Combustible: madrecaao y laurel</p> <p>Observaciones: el horno está construido a la intemperie por lo cual se encontraron algunas grietas poco profundas. La forma del horno es semi-circular.</p>	

Fuente: Propia.

TABLA 7.6 CARACTERÍSTICAS DEL HORNO DE METAPÁN

Horno No.3	
<p>Ubicación: Metapán, Departamento de Santa Ana.</p> <p>Materiales de construcción: Adobe, cemento, ladrillo de barro.</p> <p>Dimensiones: alto: 1.60 m, diámetro: 1.60 m, profundidad: 1.58 m</p> <p>Uso: panadería comercial eventual</p> <p>Combustible: laurel, madrecaao</p> <p>Observaciones: el horno está ubicado bajo una estructura techada de lámina.</p>	

Fuente: Propia

Se realizaron carbonizaciones en los tres hornos antes mencionados, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 7.7: RESULTADOS DE CARBONIZACIONES EN LOS DIFERENTES HORNOS ARTESANALES

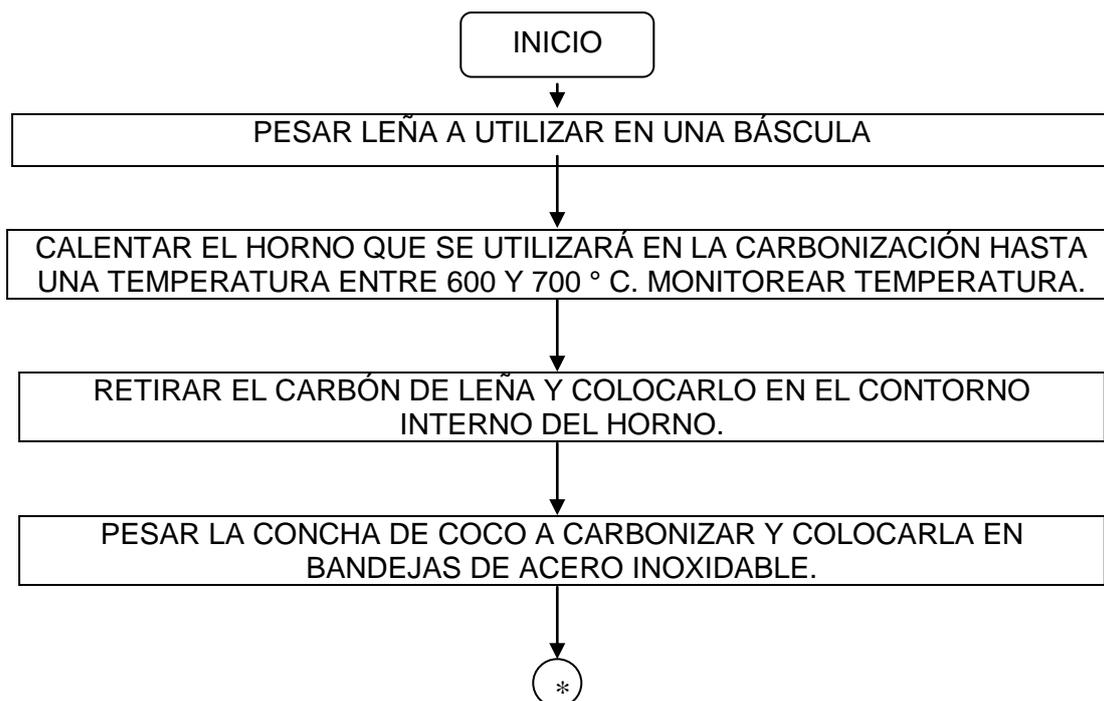
CARACTERÍSTICA	HORNO		
	HORNO 1	HORNO 2	HORNO 3
Peso de concha de coco	2.5 lb	20 lb	30 lb
Peso de leña utilizada	41 lb	82 lb	50 lb
Temperatura máxima alcanzada por el horno	318 °C	1105 °C	1000 °C
Tiempo de calentamiento del horno	3 horas	2 horas	1 hora
Peso de carbón obtenido	0.5 lb	4 lb	6 lb
Costo de leña	\$ 0.50/ lb	--	--
lb carbón obtenido/lb de leña			
Temperatura de carbonización	318 °C	650 °C	650 °C
Tiempo de carbonización	10 minutos	5 minutos	10 minutos

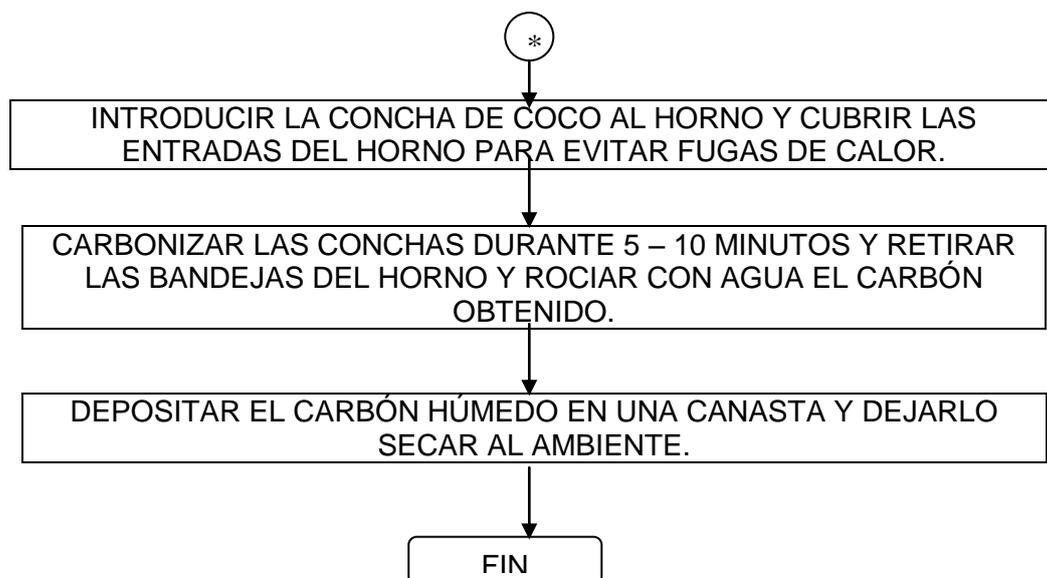
Fuente: Propia.

Para la elaboración de carbón activado a nivel artesanal se llevaron a cabo los siguientes pasos:



El único paso omitido del proceso a nivel de laboratorio fue la reducción de tamaño de la concha de coco. Todos los demás procesos se desarrollaron de igual forma que la escala a nivel de laboratorio. Solamente el proceso de calcinación de la concha de coco tuvo variación, el cual se llevó a cabo de la siguiente manera:





En la figura 7.4(A) y 7.4(B) se puede apreciar la operación de pesado de leña y el calentamiento del horno artesanal, el cual se realiza manualmente.



FIGURA 7.4 (A) PESADO DE LEÑA PARA EL HORNO (Fuente: Propia)



FIGURA 7.4 (B) CALENTAMIENTO DEL HORNO PARA ELABORAR EL CARBÓN ARTESANAL (Fuente: Propia)

Cabe mencionar las siguientes consideraciones que se tomaron en cuenta para el proceso de carbonización de concha de coco a nivel artesanal:

- ↻ La leña se pesó con el objeto de cuantificar el combustible necesario para realizar la carbonización y de ésta manera determinar el rendimiento expresado como: lb carbón/lb leña.
- ↻ Experimentalmente se determinó que los intervalos de temperatura más estable es entre 500 – 700 °C sin necesidad de utilizar más combustible.

Es necesario pesar la concha de coco con el fin de utilizar dicha información para determinar el rendimiento de carbonización. Después de pesar la concha de coco debe colocarse en bandejas de acero inoxidable e introducirlas dentro del horno. Es importante mencionar que es necesario cubrir las entradas del horno para evitar fugas de calor y así lograr una mejor carbonización.

A continuación se puede apreciar en la fig. 7.5 el pesado de la concha de coco para la carbonización y su colocación en las bandejas en las que se carbonizó:



FIGURA 7.5 (A): PESADO DE LA CONCHA DE COCO PARA LA CARBONIZACIÓN
(Fuente: Propia)



FIGURA 7.5 (B): CONCHA DE COCO SOBRE LAS BANDEJAS ANTES DE LA INTRODUCCIÓN AL HORNO PARA SU CARBONIZACIÓN. (Fuente: Propia)

En la figura 7.6 se puede observar la introducción de la concha de coco al horno y en la fig. 7.7, el monitoreo de la temperatura:



FIGURA 7.6 INTRODUCCIÓN DE BANDEJAS CON LA CONCHA DE COCO PARA LA CARBONIZACIÓN (Fuente: Propia)



FIGURA 7.7 MONITOREO DE TEMPERATURA DE HORNO ARTESANAL (Fuente:Propia)

Debido a que esta investigación se caracteriza por la utilización de tecnología apropiada, se hizo necesario determinar una metodología para identificar la temperatura adecuada del horno artesanal para realizar la carbonización. Dicha metodología consta de los siguientes pasos:

- ↗ Secar al ambiente hojas de elote durante 4 a 5 días.
- ↗ Calentar el horno a una temperatura adecuada para hornear pan (esto debe ser realizado por una persona con experiencia en el manejo de este tipo de hornos).
- ↗ Introducir cantidades pequeñas de leña.

⇒ Colocar dentro del horno las hojas secas de elote, si éstas se carbonizan en un tiempo de 3 a 5 segundos, ésta será la temperatura correcta para introducir la concha de coco.

La relación entre el peso de leña, la temperatura y el tiempo de calefacción para cada uno de los hornos utilizados se muestra en el gráfico 7.11:

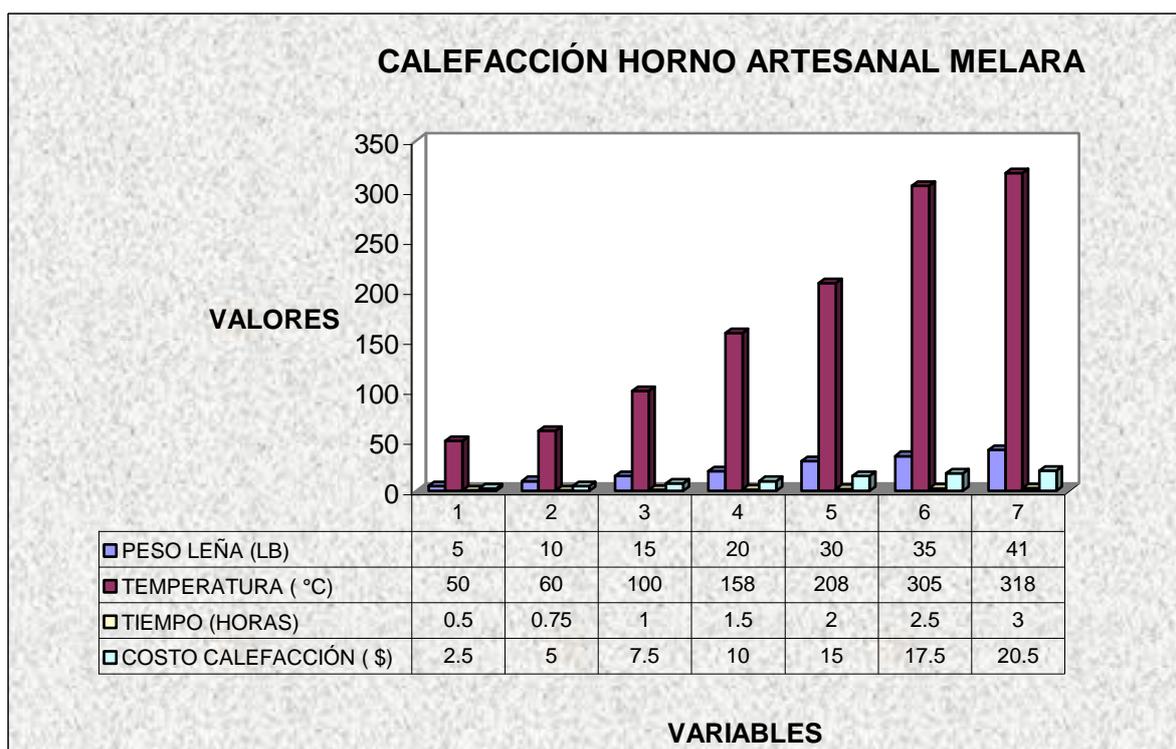


GRÁFICO 7.11: RELACIÓN DE PESO DE LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE HORNO EN MELARA (Fuente: Propia.)

Como puede observarse en el gráfico 7.11, el calentamiento tiene un costo el cual es acumulado por cada libra de leña que se utilice para aumentar la temperatura. El tiempo de calentamiento también influye en el precio debido a que a mayor tiempo de calcinación de la leña, aumenta el peso que ha de utilizarse para el aumento de temperatura.

En los gráficos 7.12 y 7.13 se puede apreciar la relación entre peso de leña, temperatura y tiempo de calentamiento de Hornos de San Luis El Coyolar y Metapán:

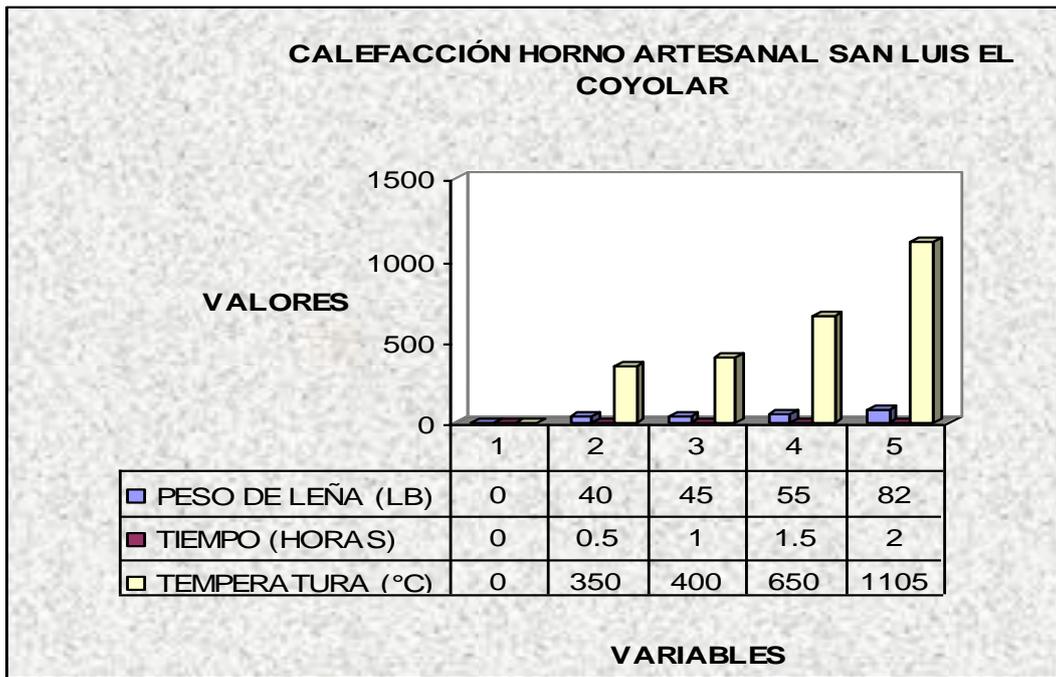


GRÁFICO 7.12: RELACIÓN DE PESO DE LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE HORNO EN SAN LUIS EL COYOLAR (Fuente: Propia)

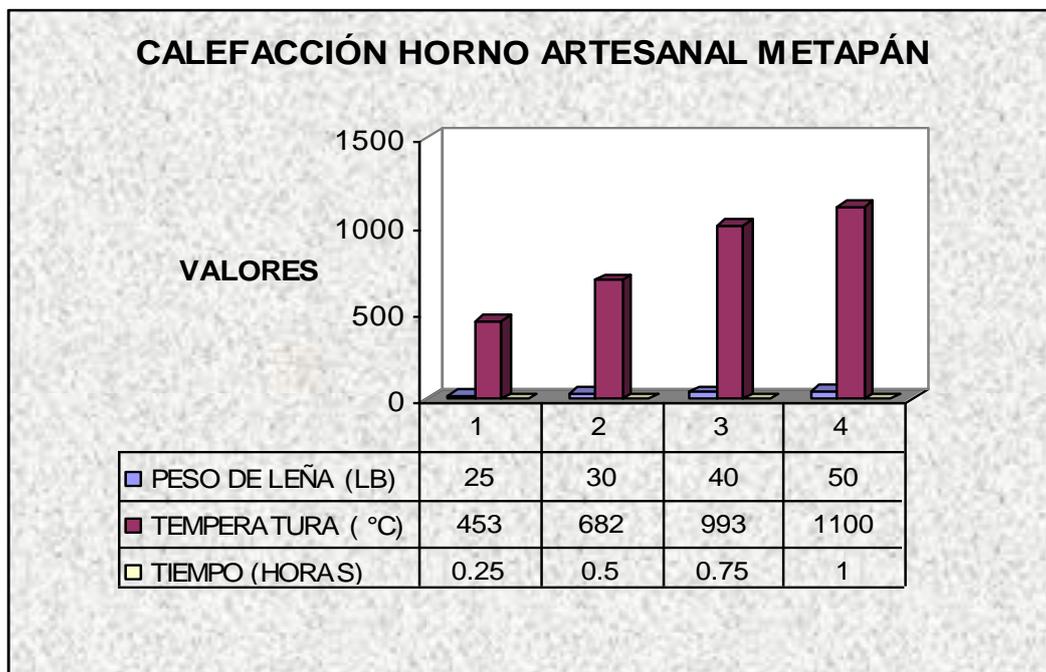


GRÁFICO 7.13: RELACIÓN DE PESO DE LEÑA, TEMPERATURA Y TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE HORNO EN METAPÁN (Fuente: Propia)

El rendimiento de carbonización por cantidad de combustible utilizado es: 0.044 lb carbón/lb leña.

Según experiencia aportada a la presente investigación por parte de usuarios de los hornos artesanales, la manera de colocar el carbón producido por la leña es utilizando una escoba hecha con hojas de laurel previamente humedecida con la cual se barre el carbón desde el centro hacia los costados del horno.

Esto se hace con la finalidad de realizar la carbonización sin utilizar directamente el calor generado por el carbón de la leña, debido a que experimentalmente se comprobó que la combustión no es uniforme, provocando que parte de la concha se reduzca a ceniza y la otra parte no se carbonice.

La carbonización de las conchas de coco se realizó por espacio de 5 a 10 minutos (ver fig. 7.8), monitoreando dicha operación cuidadosamente, es decir, tomando precauciones como: la utilización de guantes resistentes al calor (de preferencia de asbesto) y una mascarilla.



FIGURA 7.8: CARBONIZACIÓN DE LAS CONCHAS DE COCO. (Fuente: Propia)

El tiempo se determinó tomando como base los resultados de pruebas de carbonización a nivel de laboratorio utilizando para ello la mufla. Luego, se retiraron las bandejas del horno, también con mucho cuidado y se roció con agua el carbón obtenido para evitar que continuara la combustión debido al oxígeno presente en el aire (ver fig. 7.9).

El carbón obtenido fue colocado en una canasta (no plástica) y se dejó secar al ambiente durante un día.



FIGURA 7.9 CARBÓN RECIÉN OBTENIDO, ANTES DE SU COLOCACIÓN EN CANASTAS PARA EL SECADO AL AMBIENTE (Fuente: Propia)



FIGURA 7.10 DON ISABEL VALENCIA HABITANTE DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR, COLABORANDO EN EL PROCESO DE CARBONIZACIÓN (Fuente: Propia)

7.3.2 ACTIVACIÓN ARTESANAL DE CARBÓN

La activación artesanal del carbón se realizó de manera similar a la activación que se realizó a nivel de laboratorio, con la variación de que la Activación Artesanal utilizó leña como combustible, específicamente madrecaño y cedro.

Para esta activación se utilizaron las ollas de aluminio y los coladores de acero al igual que en la activación que se realizó a nivel de laboratorio.

La activación de carbón artesanal se realizó en una cocina de leña conocida como hornilla. Primeramente se procedió a encender el fuego, para ello se pesó la leña que se utilizó en

ese proceso que fue de 10 libras aproximadamente. Cada 2 horas se colocaron 10 libras más de leña. El proceso completo duró alrededor de 6 horas.

Luego se llenaron las ollas con 3 litros de agua y se llevó a ebullición. Inmediatamente se colocó el carbón artesanal en los coladores y éstos en las ollas, y se dejaron en contacto con el fuego por espacio de 2 horas. En otra olla se ebulleron 2 litros más de agua para estar llenando las ollas nuevamente con agua hirviendo y de ésta manera evitar pérdidas de calor. Como se mencionó anteriormente, este proceso duró aproximadamente 6 horas ya que se hicieron 3 corridas para activar todo el carbón que era alrededor de 9 libras.

En las figuras 7.11 y 7.12 se pueden apreciar parte del proceso de activación artesanal del carbón:



FIGURA 7.11 COLOCACIÓN DEL CARBÓN ARTESANAL EN OLLAS DE ALUMINIO
(Fuente: Propia)



FIG. 7.12: ACTIVACIÓN ARTESANAL DE CARBÓN DE COCO. (Fuente: Propia).

CAPÍTULO VIII

8.0 CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN

8.1 PREPARACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES

Una parte muy importante de la construcción de las columnas de adsorción es la preparación de los materiales adsorbentes: Perlita, Piedra Volcánica y Carbón Activado Artesanal. Para realizar la preparación de la perlita y la piedra volcánica se procedió primeramente a reducirlas de tamaño. En el caso de la Perlita la reducción de tamaño se realizó de manera manual, utilizando cincel y martillo, ya que el tamaño de la misma eran rocas de tamaño considerablemente grande.



FIG. 8.1 PERLITA EN SU ESTADO NATURAL. (Fuente: Propia)



FIG. 8.2 PROCESO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE LA PERLITA (Fuente: Propia).

Para el caso de la Piedra volcánica, solamente se procedió a reducirla de tamaño mediante una máquina llamada Trituradora de mandíbula.

8.1.1 CALCINACIÓN DE LA PERLITA

La perlita requiere un tratamiento térmico de calcinación antes de ser utilizada como material adsorbente, razón por la cual se realizó dicha calcinación primeramente en un horno artesanal para hacer pan, pero debido a que se necesitan temperaturas extremadamente altas (900 – 1000 °C) y constantes, esta operación no se pudo realizar en dichos hornos.

Se buscó otra alternativa la cual consistió en la utilización de un horno para la fabricación de ladrillo artesanal, el cual debido a las altas temperaturas que alcanza, si funcionó para los fines que se necesitaba, los cuales eran temperaturas altas y constantes. Dicho horno está elaborado de ladrillo de barro y soporta muy altas temperaturas, ya que la temperatura de cocción de los ladrillos es aproximadamente 1000 °C.

Para el proceso de cocción de los ladrillos de barro, éstos son introducidos al horno y dicho proceso de cocción dura aproximadamente 1 día. Luego de esto, se le retira la leña al horno para que comience a enfriarse. El proceso de enfriamiento del horno dura aproximadamente 3 días. El momento adecuado para introducir la perlita dentro del horno para ladrillos, es inmediatamente después de extraer la leña, es decir sobre el carbón incandescente, ya que en ese momento tiene la temperatura entre 900 y 1000 °C (según se monitoreó con termómetro digital), que es la temperatura necesaria para la calcinación de la perlita.

En la Fig. 8.3 se puede apreciar la calcinación de la perlita en el horno para elaboración de ladrillo artesanal:



FIG. 8.3: CALCINACIÓN DE LA PERLITA (SE REALIZÓ EN EL INTERIOR DONDE COLOCAN LA LEÑA DEL HORNO PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLO ARTESANAL)
(Fuente: Propia).

En la Fig. 8.4 a se puede apreciar el monitoreo de la temperatura del horno para elaborar ladrillo artesanal durante el proceso de calcinación de la perlita y en la Fig. 8.3 b se observa el termómetro digital utilizado para el monitoreo de dicha temperatura.



FIGURA 8.4(A): MONITOREO DE TEMPERATURA DE HORNO DE FABRICACIÓN DE LADRILLO (Fuente: Propia)



FIGURA 8.4 (B): TERMÓMETRO DIGITAL PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURAS HASTA DE 1200 °C. (Fuente: Propia).

Las rocas de perlita fueron colocadas en bandejas de acero inoxidable (Ver fig. 8.5), y luego se introdujeron al interior del horno para ladrillos y se dejaron por espacio de 1 hora aproximadamente.

Es importante mencionar que las bandejas con perlita se colocaron en la parte en la cual se coloca la leña del horno para ladrillos. Luego fueron extraídas con muchísimo cuidado, ya que el calor en los alrededores del horno es sumamente fuerte, y se dejaron enfriar al ambiente (Ver fig. 8.6)



FIGURA 8.5 PERLITA ANTES DE LA CALCINACIÓN. (Fuente: Propia).



FIGURA 8.6 PERLITA CALCINADA ENFRIÁNDOSE. (Fuente: Propia)

Luego de calcinar la perlita fue necesario, reducirla aún más de tamaño utilizando un cincel y martillo, ya que debido a la fragilidad que presentaba el material, no fue posible reducirlo de tamaño utilizando una trituradora.

8.1.2 TAMIZADO Y PESADO DE MATERIALES ADSORBENTES

Después de la reducción de tamaño de los materiales adsorbentes, se procedió a realizar la operación denominada Tamizado del Material adsorbente (Ver fig. 8.7), la cual consiste en uniformizar los tamaños de las partículas de material adsorbente mediante la utilización de zarandas de diferentes tamaños. El tamizado de materiales adsorbentes se realizó para perlita, piedra volcánica y carbón activado artesanal.



FIGURA 8.7 (A): TAMIZADO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL (Fuente: Propia)



FIGURA 8.7(B): TAMIZADO DE PERLITA. (Fuente: Propia).

Después de tamizar el material adsorbente, se procedió a pesar las cantidades de adsorbente que se colocaron en cada columna. Esta operación se realizó utilizando una báscula común (Ver fig. 8.8).

Luego de pesar las cantidades de material a agregar a cada columna, se procedió a llenar cada columna con el material correspondiente (Ver fig. 8.9).

Los resultados se presentan en la tabla 8.1:

TABLA 8.1: CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS DE ADSORCIÓN

COLUMNA	ALTURA DEL LECHO (cm)	PESO DE MATERIAL (g)	DIÁMETRO DE PARTÍCULA (cm)
<p>Perlita</p> 	12	6123.50	0.950
<p>Piedra Volcánica</p> 	12	5783.30	0.950
<p>Carbón Act. Artes. + Perlita E</p> 	20	7030.60	0.478
<p>Carbón Act. Com. + Perlita E.</p> 	20	7030.60	0.300

Fuente: Propia.



FIGURA 8.8 PESADO DE MATERIAL ADSORBENTE. (Fuente: Propia.)



FIGURA 8.9 MATERIAL ADSORBENTE DENTRO DE LA COLUMNA. (Fuente: Propia.)

Las dimensiones de las columnas de adsorción son las siguientes:

Altura: 35 cm

Diámetro interno: 26.5 cm

8.2 ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN

Para el Acondicionamiento del Sistema, primero fue necesario preparar las columnas colocando las válvulas a cada columna, la ducha, las mangueras, la malla que se utilizó para dividir la arena de cada uno de los materiales adsorbentes.

En el interior de las columnas se colocó un anillo sujetador sobre el material adsorbente (ver fig. 8.10), el cual consistió en dos mangueras de distinto diámetro insertadas una en la otra, con la finalidad de evitar que el material adsorbente pudiese flotar al introducirle el flujo de agua.



FIG. 8.10 ANILLO SUJETADOR DENTRO DE LA COLUMNA. (Fuente: Propia.)

En la parte superior de las columnas con material adsorbente se colocó a manera de tapadera un recipiente plástico invertido (ver fig. 8.11) al que se le perforó un agujero por el cual se introdujo la ducha.



FIG. 8.11 COLUMNA DE ADSORCIÓN YA PREPARADA. (Fuente: Propia.)

La ducha se colocó a la salida de los tanques y a través de ella fluirá el agua de entrada a las columnas conteniendo el material adsorbente. La ducha se utiliza con la finalidad de permitir una mejor irrigación del material adsorbente y evitar la canalización del flujo de agua a la entrada de la columna.

Cada columna conteniendo el material adsorbente fue colocada en una estructura metálica que se fabricó específicamente para esta investigación, quedando el sistema conformado según la fig. 8.12:



FIGURA 8.12 SISTEMA DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN. (Fuente: Propia.)

Luego de haber montado el sistema con el cual se realizó el proceso de Descontaminación de Aguas de Pozos y Agua Lluvia mediante la operación de Adsorción, se procedió a lavar los materiales adsorbentes utilizando agua desmineralizada (fig. 8.13), para evitar algún tipo de contaminación.



FIGURA 8.13 (A): LAVADO DE PERLITA Y PIEDRA VOLCÁNICA (Fuente: Propia)

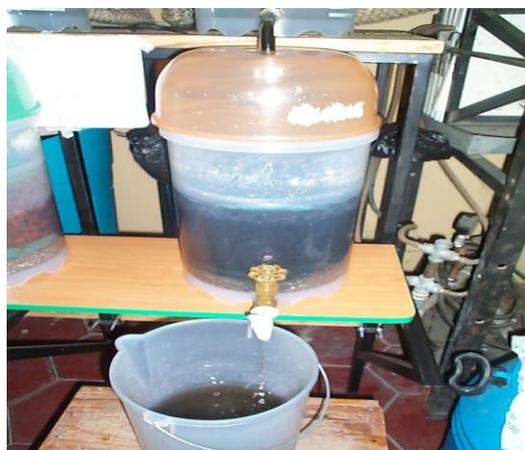


FIGURA 8.7 (B): LAVADO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL (Fuente: Propia)

Este proceso se realizó introduciendo el agua desmineralizada dentro de las columnas conteniendo los materiales y se dejó por espacio de 1 hora aproximadamente y luego fue extraída utilizando la válvula y la llave que poseen las columnas.

En la tabla 8.2 se pueden apreciar los volúmenes de agua desmineralizada utilizada para el lavado. Esta operación se realizó varias veces hasta lograr que el agua saliera clara y de esta manera garantizar la limpieza de los materiales adsorbentes.

TABLA 8.2: VOLUMEN DE AGUA DESMINERALIZADA UTILIZADA PARA LAVADO DE MATERIALES ADSORBENTES

MATERIAL	VOLUMEN DE AGUA (L)
Perlita	20
Piedra Volcánica	25
Carbón Activado (Artesanal y Comercial)	35

Fuente: Propia.

Debido a que el agua a la salida de las columnas conteniendo los materiales adsorbentes, arrastró partículas de arena y no se logró resolver este problema (ver fig. 8.14), se prescindió de la capa de arena y quedó solamente un material adsorbente en cada columna ya sea perlita, piedra volcánica y carbón activado.



FIGURA 8.14 ARRASTRE DE ARENA A TRAVÉS DEL EFLUENTE DE LA COLUMNA.

(Fuente: Propia.)

Posteriormente se calibraron los recipientes plásticos transparentes (bidones) que servirían de tanques con el agua a tratar (ver fig. 8.15), se midió litro por litro y se le colocó una viñeta

con la cantidad respectiva hasta marcar los 20 litros que es la capacidad de dichos recipientes.



FIG. 8.15 TANQUES CALIBRADOS. (Fuente: Propia.)

Después se procedió a calibrar las válvulas de salida de las columnas conteniendo los materiales adsorbentes. Dicha calibración se realizó midiendo el flujo de agua que salía por la válvula durante un espacio de tiempo determinado, para ello se utilizó una probeta graduada en la cual se colectó la cantidad de agua de salida por unidad de tiempo (mL/s).

El caudal de entrada a las columnas conteniendo los materiales adsorbentes es el mismo caudal de salida de los tanques conteniendo el agua a tratar, se determinó que es de 33 ml/s y es a válvula completamente abierta, esto para garantizar la completa irrigación del material adsorbente y evitar la canalización del flujo de entrada.

En las tablas de 8.3 a 8.6 se tienen los diferentes caudales obtenidos durante la calibración de las válvulas de las columnas de adsorción para los diferentes materiales adsorbentes:

TABLA 8.3: CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE PERLITA EXPANDIDA

PERLITA		
Tiempo (s)	Volumen (mL)	Caudal Q (mL/s)
10	44	4.4
6	33	5.5
3	42	14.0
2	35	17.5
1.5	29	19.3
1.5	35	23.3

Fuente: Propia.

TABLA 8.4: CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA

PIEDRA VOLCÁNICA		
Tiempo (s)	Volumen (mL)	Caudal Q (mL/s)
4	4	1.0
4	27	6.8
3	38	12.7
3	42.5	14.2
3	49	16.3
2	39	19.5
1	27	27.0

Fuente: Propia.

TABLA 8.5: CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL		
Tiempo (s)	Volumen (mL)	Caudal Q (mL/s)
30	6	0.2
10	18	1.8
3	27	9.0
3	35	11.7
3	39.5	13.2
3	42	14.0
2.5	39	15.6

Fuente: Propia.

TABLA 8.6: CAUDALES EN LA CALIBRACIÓN DE VÁLVULA DE COLUMNA DE CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL

CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL		
Tiempo (s)	Volumen (mL)	Caudal Q (mL/s)
30	5	0.2
10	15	1.5
3	25	8.3
3	32	10.7
3	37	12.3
2.5	40	16
2	38	19

Fuente: Propia.

Los lechos de carbón activado artesanal y comercial presentaron el inconveniente de arrastrar partículas de carbón hacia el efluente. El problema fue solucionado agregando a cada lecho 3175.10 g de perlita expandida en el fondo de cada columna y luego se agregó el lecho de carbón correspondiente (ver fig. 8.16).

Luego de pruebas preliminares se comprobó la eficacia de tomar dicha medida y se solucionó el problema.



FIG. 8.16 COLUMNA CON CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL+PERLITA EXPANDIDA

(Fuente: Propia)

CAPÍTULO IX

10.0 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES

La superficie específica, o área superficial por unidad de peso, junto con la porosidad, densidad, tamaño, geometría y distribución de poros, es una propiedad importante de los adsorbentes.

Se escogió la propiedad superficie específica con la finalidad de caracterizar el material adsorbente y determinar su capacidad adsorptiva. Con este objetivo se eligió el método de la adsorción de azul de metileno, el cual es recomendado en la literatura para la medida de superficie específica de adsorbentes.

9.1 FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La superficie específica, S , de un adsorbente se calcula por medio de la relación:

$$S = X_m N_o a$$

Donde:

X_m : Cantidad de adsorbato necesaria para formar una monocapa sobre un gramo de adsorbente.

N_o : Número de Avogadro.

a : Superficie cubierta por una molécula adsorbida.

El valor de "a", superficie cubierta por una molécula de azul de metileno adsorbida, varía grandemente de una referencia bibliográfica a otra. En la bibliografía se tienen valores como: 25 \AA^2 , 39.5 \AA^2 , 120 \AA^2 y 130 \AA^2 .

El valor de X_m se encontró utilizando el método de la Isoterma de Adsorción de BET, fue obtenida por Brunauer, Emmett y Teller para explicar la adsorción en multicapas. En el caso de un adsorbato en solución se tiene la ecuación:

$$\frac{C}{X(C_o - C)} = \frac{1}{X_m K} + \frac{K - 1}{X_m K} \cdot \frac{C}{C_o} \quad (1)$$

Donde:

X : Cantidad de soluto adsorbido por gramo de adsorbente

C_o : Concentración inicial de la solución

C : Concentración final de la solución o de equilibrio

Para este caso, según la bibliografía K que es una constante de equilibrio es muy grande, el intercepto de la ecuación [1] $(1/X_m K)$, es muy pequeño por lo que se puede aproximar a

cero; igualmente la pendiente ($k-1/(X_m K)$) se puede tomar igual a $(1/X_m)$. Entonces la ecuación [1] se convierte en:

$$\frac{C}{X(C_o - C)} = \frac{1}{X_m} \cdot \frac{C}{C_o} \quad (2)$$

El valor de X_m se encuentra combinando la pendiente con el intercepto de la función lineal que resulta cuando se hace la gráfica: $C/X(C_o - C)$ contra C/C_o . Es decir:

$$X_m = 1/(\text{Pendiente} + \text{intercepto}) \quad (3)$$

9.2 FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE MATERIALES ADSORBENTES POR ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO

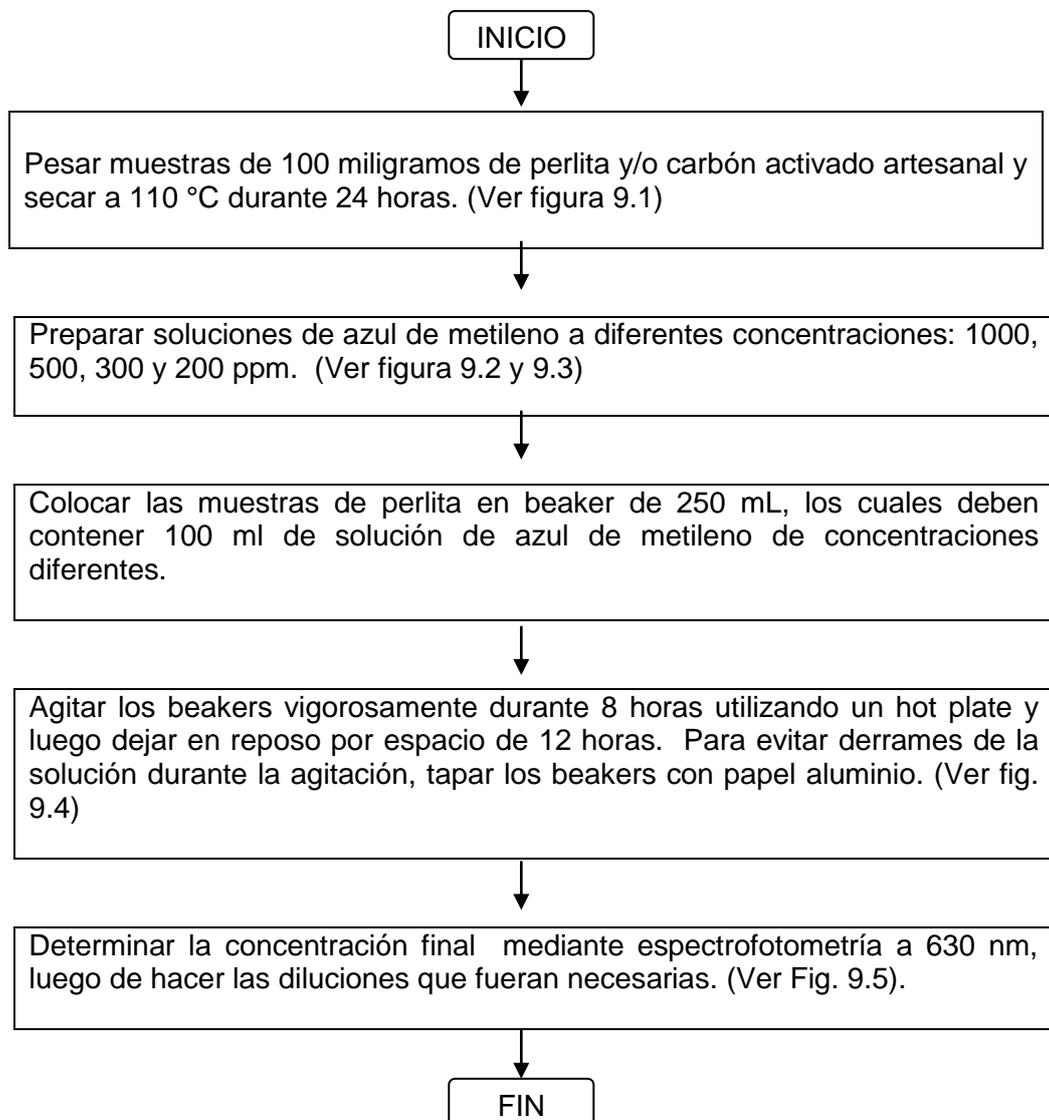




FIGURA 9.1: SECADO DE LA MUESTRA DE PERLITA EN LA ESTUFA. (Fuente: Propia)



FIGURA. 9.2 SOLUCIONES ORIGINALES Y DILUIDAS DE AZUL DE METILENO. (Fuente: Propia)



FIGURA. 9.3 SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO EN AGITACIÓN EL HOT PLATE. (Fuente: Propia)



FIGURA. 9.4 ESPECTROFOTÓMETRO ESPECTRONIC 20. (Fuente: Propia)

Para realizar el anterior procedimiento se realizaron varias pruebas para obtener resultados adecuados. Con las concentraciones de 1000, 500, 300 y 200 ppm de azul de metileno se obtuvieron valores de absorbancia superiores a 3 y sabiendo que el valor más recomendable como máximo de absorbancia es de 1, entonces se procedió a realizar diluciones de 1/50, obteniéndose concentraciones de 20, 10 y 6 ppm conservando siempre la de 200 ppm.

Se realizó todo el procedimiento nuevamente y otra vez se obtuvieron valores superiores a 1 de absorbancia para las concentraciones de 200 y 20 ppm, por lo que fue necesario realizar más diluciones de las soluciones originales. Se decidió hacer diluciones de 1/100, obteniéndose concentraciones de 10, 5, 3 y 2 ppm.

Se realizó otra vez el procedimiento, dando ahora resultados aceptables de absorbancia por lo que se trabajó con las últimas concentraciones antes mencionadas para realizar la determinación de la superficie específica de la perlita y del carbón activado artesanal.

9.3 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA

En las Tablas de la 9.1 a 9.3 se muestran los resultados de los ensayos realizados para determinar las condiciones apropiadas como: cantidad de adsorbente y rango de concentraciones de azul de metileno, que permitieran obtener las isotermas de adsorción.

TABLA 9.1: PRIMER ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA (A)	TRANSMITANCIA (T)
200 ppm	3.092 (*)	-
300 ppm	3.435	-
500 ppm	-	-
1000 ppm	-	-
Blanco	0	100

Fuente: Propia.

*No se realizaron las demás determinaciones ya que a medida crece la concentración la absorbancia será mayor y estos resultados no eran adecuados.

TABLA 9.2: SEGUNDO ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO

CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIA (A)	TRANSMITANCIA (%T)
6 ppm	0.549	25
10 ppm	1.047	-
20 ppm	2.100	-
200 ppm	3.092	-
Blanco	0	100

Fuente: Propia

TABLA 9.3: TERCER ENSAYO DE PERLITA EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO

MUESTRA	TRANSMITANCIA (%T)			
	M1	M2	M3	Promedio
A	45.5	45.6	45.5	45.550
B	72.5	72.3	72.5	72.420
C	83.3	83.5	83	83.270
D	88.5	88.8	89	88.660
Blanco	100	100	100	100

Fuente: Propia

Debido a que se trabajará con valores de Transmitancia para realizar los cálculos se procedió a medir únicamente dicho parámetro.

En la Tabla 9.4 se muestra las lecturas de transmitancia para realizar la curva de calibración del azul de metileno (ver gráfico 9.1).

TABLA 9.4: LECTURA DE TRANSMITANCIA PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL DE METILENO

CONCENTRACIÓN DE LA MUESTRA	TRANSMITANCIA (%T)			
	M1	M2	M3	Promedio
15 ppm	14	14	14	14
10 ppm	44	45	44	44.333
5 ppm	64	63.5	64	63.833
3 ppm	81	82	82	81.667
2 ppm	86	85	85	85.333
Blanco	100	100	100	100

Fuente: Propia

La gráfica 9.1 muestra que la concentración de azul de metileno en cada una de las muestras medido a través de espectrofotometría estaba relacionado con el color que se observó en cada recipiente, por lo cual a mayor concentración el color de la muestra incrementó y se obtuvieron medidas cada vez mayores de transmitancia debido a que las soluciones de azul de metileno contenían cada vez menos cantidad de dicha sustancia.

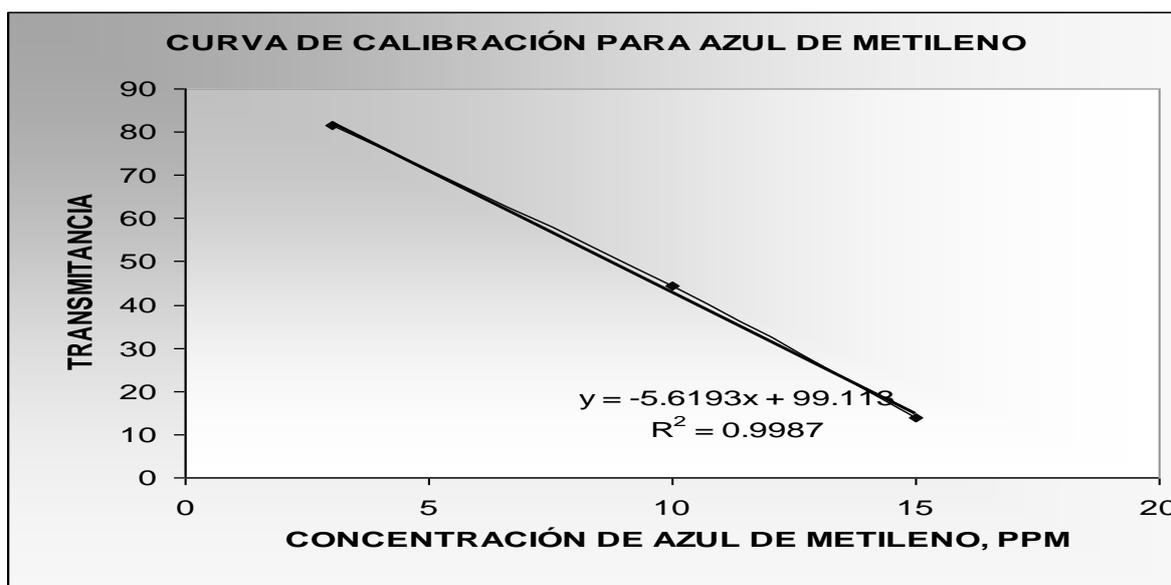


GRÁFICO 9.1 CURVA DE CALIBRACIÓN PARA AZUL DE METILENO. (Fuente: Propia).

Eliminando algunos puntos y aplicando regresión lineal se obtiene un $R^2 = 0.9914$ y la ecuación: $y = -5.6193x + 99.113$

Donde:

y= transmitancia

x= concentración de azul de metileno en ppm

Ya que se tienen los valores de transmitancia para las pruebas de azul de metileno con perlita y carbón activado artesanal puede conocerse la concentración de azul de metileno en ppm, lo cual se muestra en la tabla 9.5.

TABLA 9.5 CONCENTRACIÓN FINAL DE AZUL DE METILENO PARA LA PRUEBA DE SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA

MUESTRA	TRANSMITANCIA (% T)	CONCENTRACIÓN FINAL DE LA MUESTRA (mg/L)
A	45.550	9.532
B	72.420	4.750
C	83.270	2.820
D	88.660	1.860

Fuente: Propia.

En la Tabla 9.6 se tienen los datos de adsorción del azul de metileno en perlita, transformando las concentraciones a g/L

TABLA 9.6: DATOS DE ADSORCIÓN DEL AZUL DE METILENO EN PERLITA

MUESTRA	CONCENTRACIÓN INICIAL: C_0 (g/L)	CONCENTRACIÓN FINAL: C (g/L)	C/C_0	X^*
A	1.0	0.9532	0.9532	0.0468
B	0.5	0.4750	0.9500	0.0250
C	0.3	0.2820	0.9400	0.0180
D	0.2	0.1860	0.9300	0.0140

Fuente: Propia.

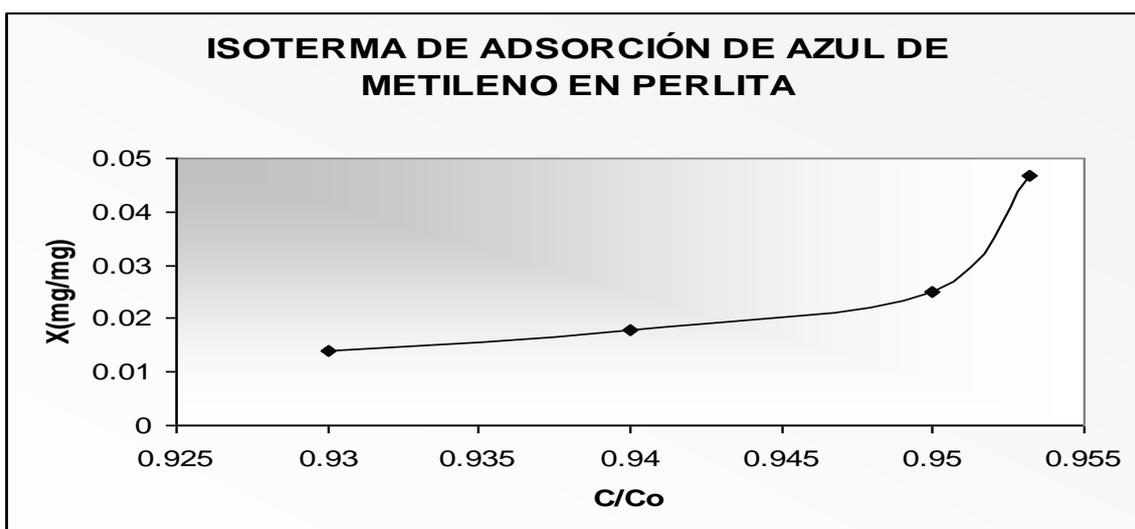


GRÁFICO 9.2 ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN PERLITA. (Fuente: Propia)

Se calcularon los datos de la Ecuación [2] para realizar la Isoterma de BET para el azul de metileno, lo cual se observa en la Tabla 9.7. En la Fig. 9.8 se tiene la Isoterma de BET para el Azul de metileno y en la Gráfica 9.9 se presenta la Isoterma de BET linealizada para calcular la pendiente y el intercepto:

TABLA 9.7 DATOS DE LA ISOTERMA BET PARA EL AZUL DE METILENO (PERLITA)

C/Co	C/X(Co-C)
0.9532	435.20
0.9500	760.00
0.9400	870.37
0.9300	948.98

Fuente: Propia.

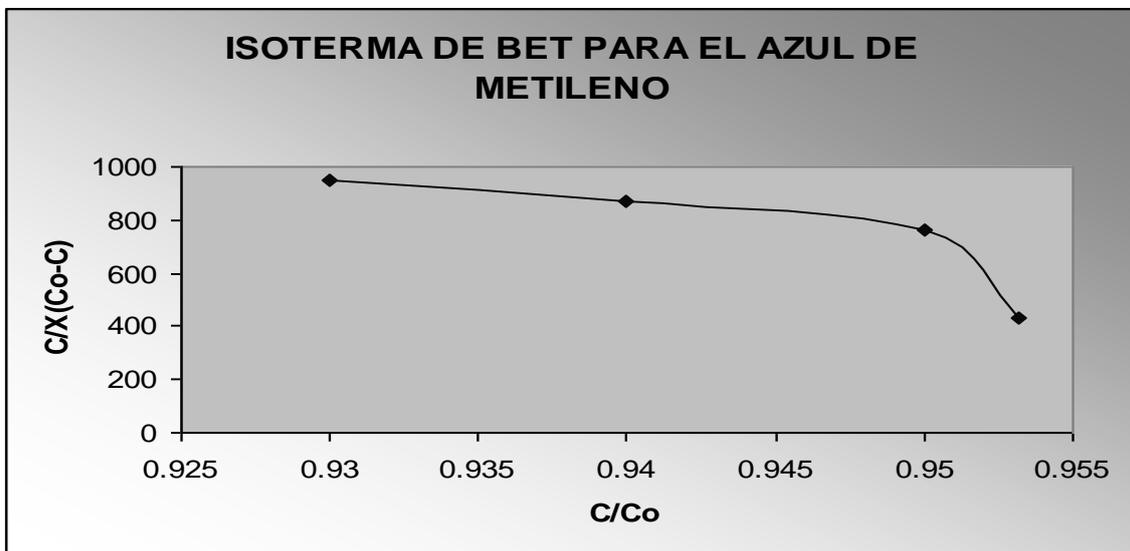


GRÁFICO 9.3(A): ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO NO LINEALIZADA (Fuente: Propia)

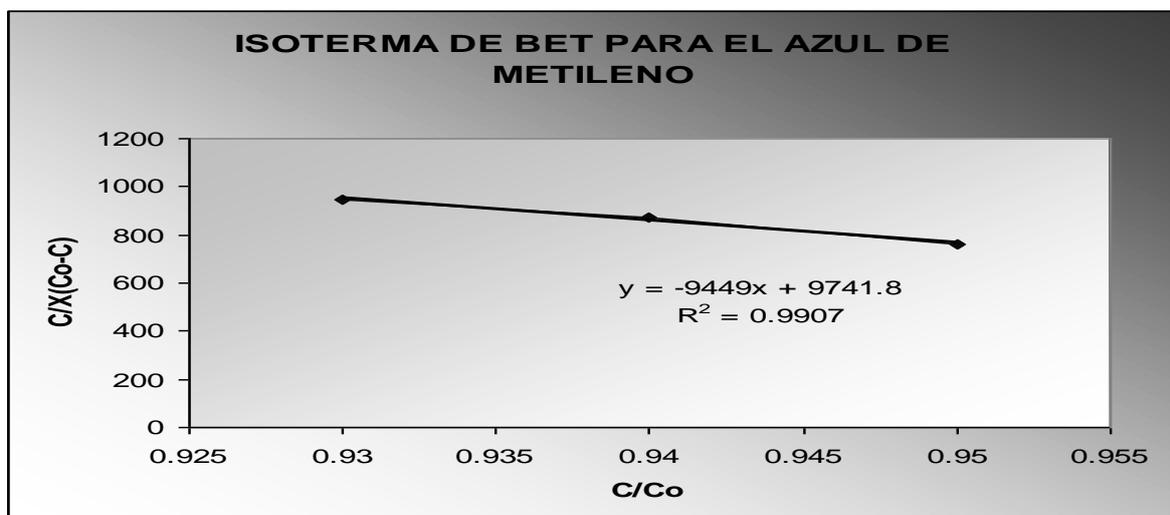


GRÁFICO 9.3 (B): ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO LINEALIZADA. (Fuente: Propia)

Calculando el valor de X_m mediante la ecuación (2):

$$X_m = 1/(\text{pendiente} + \text{intercepto})$$

$$X_m = 0.0034$$

Ahora con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación (1):

$$S = X_m \cdot N_0 \cdot a$$

$$S = 529.55 \text{ m}^2/\text{g}$$

9.4 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

Para la determinación de la superficie específica del carbón activado artesanal, se realizó solamente un ensayo, debido a que ya se trabajó con las mismas concentraciones que se utilizaron en el último ensayo de la determinación de la superficie específica de perlita y se obtuvo los datos de la tabla 9.8:

TABLA 9.8: PRUEBA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL EN SOLUCIÓN DE AZUL DE METILENO.

MUESTRA	TRANSMITANCIA (%T)			
	M1	M2	M3	Promedio
A	29	28.5	29	28.833
B	41	41	41.5	41.167
C	51	51.5	51	51.167
D	61	61	61	61.000
Blanco	100	100	100	100

Fuente: Propia

En la Tabla 9.9 se muestran las lecturas de transmitancia para realizar la curva de calibración del azul de metileno (Ver gráfico 9.4)

TABLA 9.9: LECTURA DE TRANSMITANCIA PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN DEL AZUL DE METILENO

CONCENTRACIÓN DE LA MUESTRA	TRANSMITANCIA (%T)			
	M1	M2	M3	Promedio
15 ppm	14	14	14	14
10 ppm	45.7	45	44	44.89
5 ppm	64	63.5	64	72.760
3 ppm	83.1	84	83.4	83.490
2 ppm	88.5	88.6	89.7	88.940
Blanco	100	100	100	100

Fuente: Propia

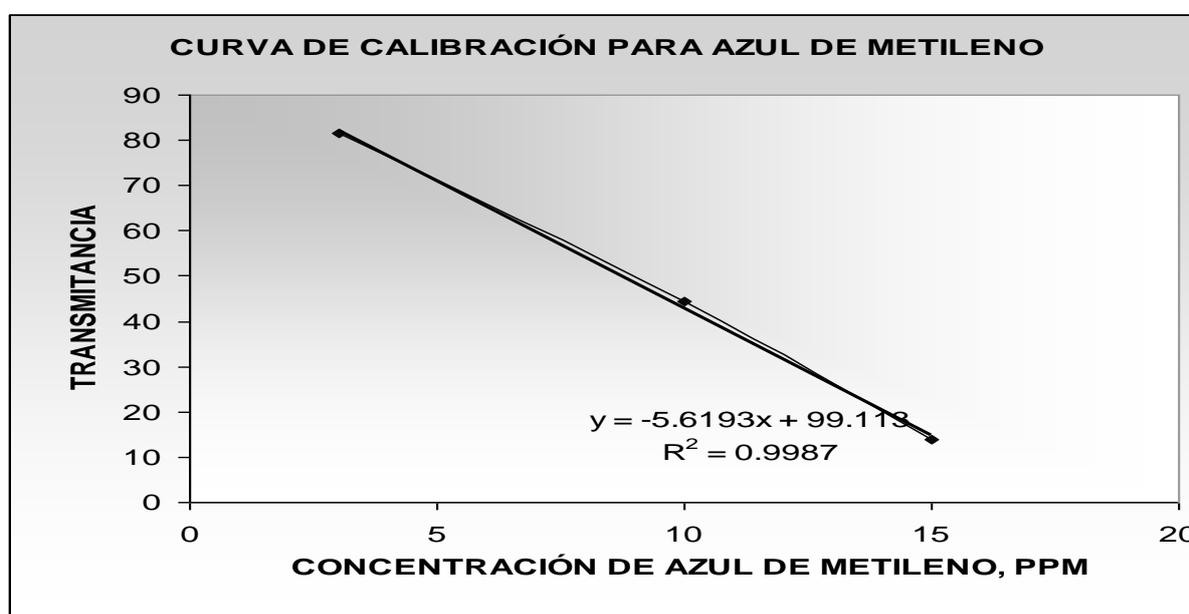


GRÁFICO. 9.4: CURVA DE CALIBRACIÓN PARA AZUL DE METILENO. (Fuente: Propia)

Eliminando algunos puntos y aplicando regresión lineal se obtiene un $R^2 = 0.9914$ y la siguiente ecuación: $y = -5.6193x + 99.113$

Donde:

y= transmitancia

x= concentración de azul de metileno en ppm

Ya que se tienen los valores de transmitancia para las pruebas de azul de metileno con perlita y carbón activado artesanal puede conocerse la concentración de azul de metileno en ppm, lo cual se muestra en la tabla 9.10.

TABLA 9.10: CONCENTRACIÓN FINAL DE AZUL DE METILENO PARA LA PRUEBA DE SUPERFICIE ESPECÍFICA DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

MUESTRA	TRANSMITANCIA (% T)	CONCENTRACIÓN FINAL DE LA MUESTRA (mg/l)
A	44.890	9.650
B	72.760	4.690
C	83.490	2.780
D	88.940	1.810

Fuente: Propia.

En la Tabla 9.11 se muestran los datos de adsorción de Azul de metileno de carbón activado artesanal y en el gráfico 9.5 se muestra la Isoterma de Adsorción de Azul de Metileno en carbón activado artesanal. Las concentraciones se pasaron de unidades de mg/L a g/L

TABLA 9.11: DATOS DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

MUESTRA	CONCENTRACIÓN INICIAL: C_0 (g/L)	CONCENTRACIÓN FINAL: C (g/L)	C/C_0	$X(*)$
A	1.0	0.9650	0.9650	0.0350
B	0.5	0.4690	0.9380	0.0310
C	0.3	0.2780	0.9267	0.0220
D	0.2	0.1810	0.9050	0.0190

Fuente. Propia

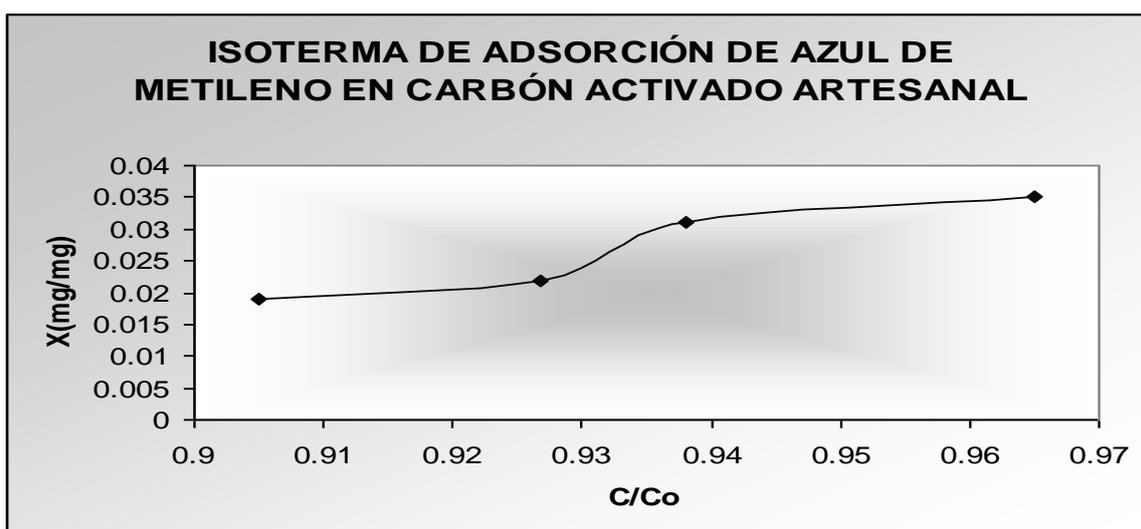


GRÁFICO 9.5: ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL. (Fuente: Propia)

Se calcularon los datos de la Ecuación [2] para realizar la Isoterma de BET para el azul de metileno, lo cual se observa en la Tabla 9.12. En la Gráfica 9.6 (a) se tiene la Isoterma de BET para el Azul de metileno y en la Gráfica 9.6 (b) se presenta la misma isoterma pero linealizada, para efectos de cálculo de la pendiente e intercepto.

TABLA 9.12: DATOS DE LA ISOTERMA BET PARA EL AZUL DE METILENO (CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL)

C/C_0	$C/X(C_0-C)$
0.9650	787.7551
0.9380	488.0333
0.9267	574.3802
0.9050	501.3850

Fuente: Propia.

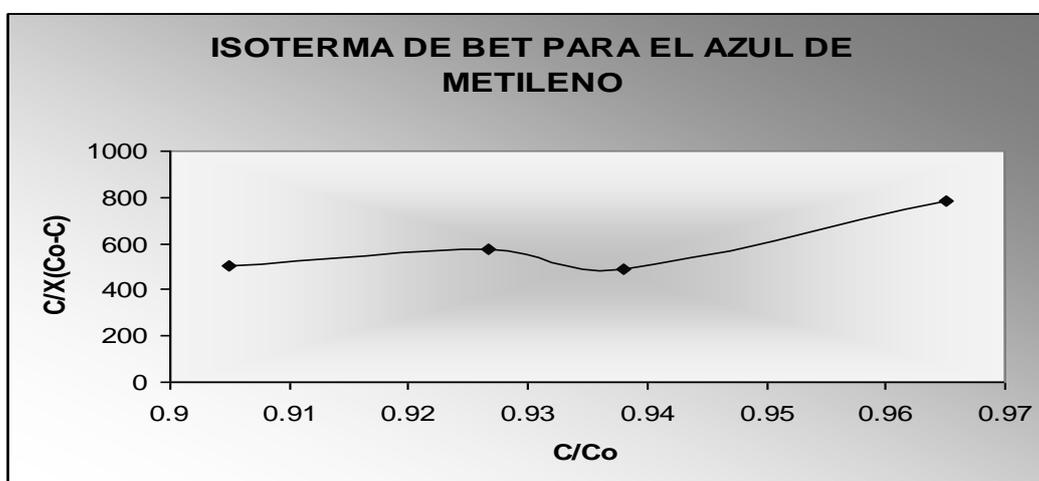


GRÁFICO 9.6 (A): ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANALNO LINEALIZADA (Fuente: Propia)

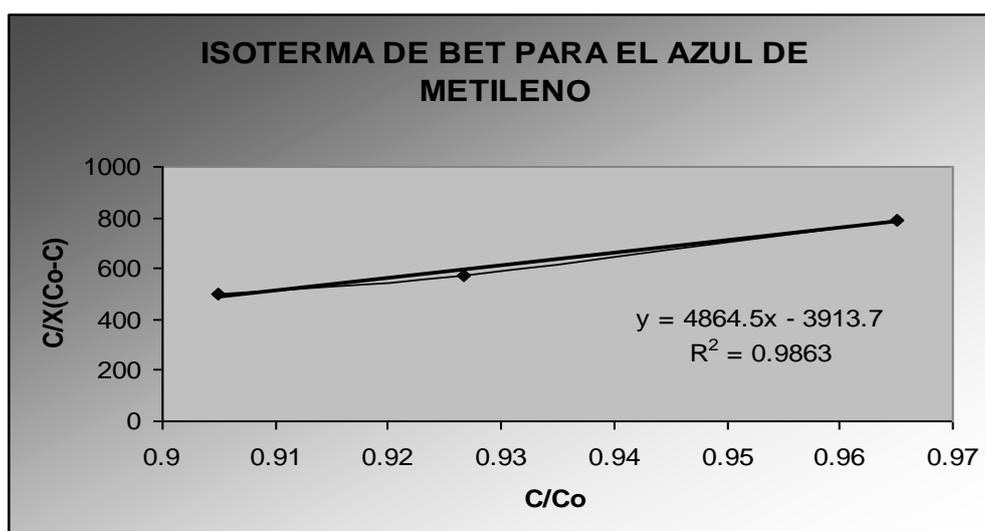


GRÁFICO 9.6 (B): ISOTERMA DE BET PARA EL AZUL DE METILENO EN CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL LINEALIZADA (Fuente: Propia)

Ahora con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación (2)

$$X_m = 1/(\text{pendiente} + \text{intercepto}) = 0.0011$$

Con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación (1)

$$S = X_m N_0 a = 171.325 \text{ m}^2/\text{g}$$

Los resultados del índice de Azul de Metileno para calcular la Superficie específica de adsorbentes: Perlita Expandida y Carbón Activado Artesanal se muestran en la Tabla 9.13:

TABLA 9.13: SUPERFICIE ESPECÍFICA DE PERLITA Y CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

MATERIAL ADSORBENTE	SUPERFICIE ESPECÍFICA (S)
Perlita	529.55 m ² /g
Carbón Activado Artesanal	171.325 m ² /g

Fuente: Propia.

El resultado de la Superficie Específica de Perlita y Carbón Activado Artesanal, significa el área superficial disponible para la adsorción.

Según los resultados obtenidos puede observarse que la perlita tiene mayor área superficial disponible para la adsorción que el carbón activado artesanal, es decir tiene mayor capacidad de adsorción.

CAPITULO X

10.0 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos al cuantificar los parámetros seleccionados de la norma salvadoreña, para las muestras de agua de las comunidades:

- ↗ Comunidad Bocapoza
- ↗ Comunidad Melara
- ↗ Comunidad El Mango
- ↗ Comunidad San Luis el Coyolar
- ↗ Ayutuxtepeque (Testigo)

El intervalo de recolección de datos se muestra en la tabla 10.1.

TABLA 10.1: FRECUENCIA DE ANALISIS DE PARAMETROS EN MUESTRAS DE AGUA

TIPO DE MUESTRA	PARÁMETRO	FRECUENCIA DE ANALISIS	
		INTERVALO	NUMERO
AGUA DE POZO	FISICOQUÍMICOS	ESTACIÓN SECA Y LLUVIOSA	2
AGUA DE POZO	MICROBIOLÓGICOS	ESTACIÓN SECA Y LLUVIOSA	2
AGUA LLUVIA	FÍSICOS	CADA VEZ QUE LLUEVE	10
AGUA LLUVIA	SUSTANCIAS QUÍMICAS	CADA MES EN ESTACIÓN LLUVIOSA	4
AGUA LLUVIA	METALES PESADOS	ESTACIÓN LLUVIOSA	1
AGUA LLUVIA	MICROBIOLÓGICOS	DURANTE ESTACIÓN LLUVIOSA	1

Fuente: Propia

10.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA

Los reportes de los resultados de los análisis de las muestras de agua de pozo y agua lluvia obtenidas durante la investigación y datos previos a esta se presentan a continuación.

10.1.1 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO

Con el objeto de caracterizar las muestras de agua lluvia y agua de pozo en cuanto a la existencia de contaminación de este tipo se tomaron muestras y el resultado de los análisis es presentado en la tabla 10.2. (ver anexo 7)

TABLA 10.2: RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO (UFC/100 ml)

PARAMETROS	MELARA	BOCAPOZA	EL MANGO	S. L. EL COYOLAR	VALOR MAXIMO	TESTIGO
E. COLI	4	5	0	0	0	0
C. FECALES	6	7	0	0	0	0
C. TOTALES	11	11.5	100	57.5	0	0

Fuente: Propia

10.1.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA

La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo mediante la recolección de muestras posterior a ser analizadas en los siguientes grupos de parámetros (ver anexo 7):

- ↻ Parámetros físicos
- ↻ Parámetros de sustancias químicas
- ↻ Parámetros de sustancias químicas de tipo inorgánicos de alto riesgo para la salud
- ↻ Residuos de plaguicidas

10.1.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA

Los resultados de los parámetros físicos del agua de pozo y agua lluvia que fueron analizados se presentan en la tabla 10.3

TABLA 10.3: RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO

PARAMETROS	MELARA	BOCAPOZA	EL MANGO	S, L. EL COYOLAR	V. MAXIMO	TESTIGO
COLOR VERDADERO	N.D.	17.5	N.D.	N.D.	----	N.D.
COLOR APARENTE	N.D.	38.0	N.D.	N.D.	----	N.D.
Ph	7.22	7.5	6.48	6.50	7	6.44
CONDUCTIVI. E.	608.7	869.7	7.6	20.1	1600 umhos/cm	6.78
SOLIDOS T.	436.5	578.5	10	12.55	600 ppm	2.8
TURBIEDAD	2.4	N.D.	0.6	0.7	5 UNT	0.3

Fuente: Propia

10.1.2.2 PARÁMETROS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS DE AGUA DE POZO DE Y AGUA LLUVIA

Los resultados de los análisis para las comunidades se muestran en la tabla 10.4.

TABLA 10.4: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN MUESTRAS DE AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA (mg/L)

PARAMETROS	MELARA	BOCAPOZA	S. L. EL COYOLAR	EL MANGO	VALOR MAXIMO	TESTIGO
ALCALINIDAD TOTAL	192	452.3	20.4	20.4	350	20.4
CALCIO	38.9	81.7	3.3	2.2	75	2.2
CLORUROS	94.6	149.3	1.85	N.D.	250	N.D.
DUREZA TOTAL	84.4	112	8.70	8.70	400	8.7
HIERRO TOTAL	0.017	1.25	0.03	0.02	0.3	N.D.
MAGNESIO	31.5	146.8	5.4	6.5	50	1.5
NITRATOS	8.5	9.7	1.7	1.8	1	N.D.
SULFATOS	25.7	37.15	N.D.	N.D.	250	N.D.
SODIO	102.7	164.75	5.7	1.25	150	N.D.
POTASIO	6.8	25.1	0.7	0.5	10	0.002
MANGANESO TOTAL	0.06	2.3	0.07	0.07	0.1	N.D.

Fuente: Propia

10.1.2.3 PARÁMETROS DE SUSTANCIAS QUÍMICAS DE TIPO INORGÁNICO DE ALTO RIESGO PARA LA SALUD DEL AGUA DE POZO Y AGUA LLUVIA

Los parámetros que comprende este grupo se refiere a los conocidos comúnmente como metales pesados, la determinación de su existencia en el agua de pozo y agua lluvia se muestran a continuación en la tabla 10.5

TABLA 10.5: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUSTANCIAS QUIMICAS DE ALTO RIESGO PARA MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO (mg/L)

PARAMETROS	BOCAPOZA	MELARA	SAN. L. EL COYOLAR	EL MANGO	VALOR MAXIMO	TESTIGO
ALUMINIO	0.044	0.006	0.03	0.02	0.05	N.D.
ARSÉNICO	0.008	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.
BORO	2.2	1.8	N.D.	0.3	0.3	N.D.
PLOMO	9.25E-4	0.001	0.002	0.003	0.001	0.003
CADMIO	N.D.	N.D.	0.0001	0.0019	0.003	0.0022
CROMO (6)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05	N.D.
MERCURIO	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.

Fuente: Propia

10.1.2.4 PARÁMETROS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN AGUA DE POZO DE COMUNIDAD BOCAPOZA Y MELARA

Los residuos de plaguicidas fueron analizados para las comunidades, debido a que anteriormente en los terrenos en los que actualmente se cultiva caña de azúcar, se cultivaba algodón, por lo que se verificó si existía algún residuo de plaguicida perteneciente a los organoclorados o/y organofosforados, sin embargo los resultados de los análisis mostraron que tanto para época lluviosa como para época seca, la concentración de tales compuestos no era detectable. . Los residuos de plaguicidas analizados se muestran en la tabla 10.6

TABLA 10.6: PARAMETROS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ANALIZADOS EN MUESTRAS DE AGUA COMUNIDAD BOCAPOZA Y MELARA

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS			
Lindano	Endosulfán	Metil Paratión	Gamma Clordano
Heptaclor	Dieldrín	Malatión	Alfa clordano
Aldrín	Endosulfán II	Paratión	4,4 DDE
Heptaclor epóxido	2,4 DDT	Etión	Endrín
2,4 DDE	Diazinón	Hexaclorobenceno	4,4 DDD

Fuente: Propia

Los parámetros físicos medidos in situ (pH, mm precipitados y temperatura) por las personas de la comunidad son resumidos a continuación para cada una de las comunidades en estudio se muestran en la tabla 10.7-10.9

TABLA 10.7: RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: PRECIPITACIÓN EN COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y PUNTO 2)

ESTADÍSTICO	EL MANGO	SAN LUIS EL COYOLAR
PROMEDIO mm PRECIPITADOS	5.34	6.3
MÁXIMO (MES DE JUNIO)	9.65	10
MÍNIMO (MES DE MAYO)	2.75	2
DESVIACIÓN ESTANDAR PROMEDIO	1.6	2.01
NÚMERO DE DATOS	10	10

Fuente: Propia

TABLA 10.8: RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: POTENCIAL DE HIDRÓGENO EN MUESTRAS DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y 2)

ESTADÍSTICO	EL MANGO	SAN LUIS EL COYOLAR
PROMEDIO Ph	7.5	6.7
MÁXIMO (MES DE JUNIO)	8	7.5
MÍNIMO (MES DE MAYO)	7	6
DESVIACIÓN ESTANDAR PROMEDIO	0.33	0.37
NÚMERO DE DATOS	10	10

Fuente: Propia

TABLA 10.9: RESUMEN ESTADÍSTICO VARIABLE: TEMPERATURA DE AGUA LLUVIA COMUNIDAD EL MANGO Y SAN LUIS EL COYOLAR(PUNTO 1 Y PUNTO 2)

ESTADÍSTICO	EL MANGO	SAN LUIS EL COYOLAR
PROMEDIO (TEMPERATURA °C)	24.60	24.5
MÁXIMO (MES DE JUNIO)	25.5	26.25
MÍNIMO (MES DE JULIO)	23	22
DESVIACIÓN ESTANDAR PROMEDIO	0.6	1.14
NÚMERO DE DATOS	10	10

Fuente: Propia

CAPITULO XI

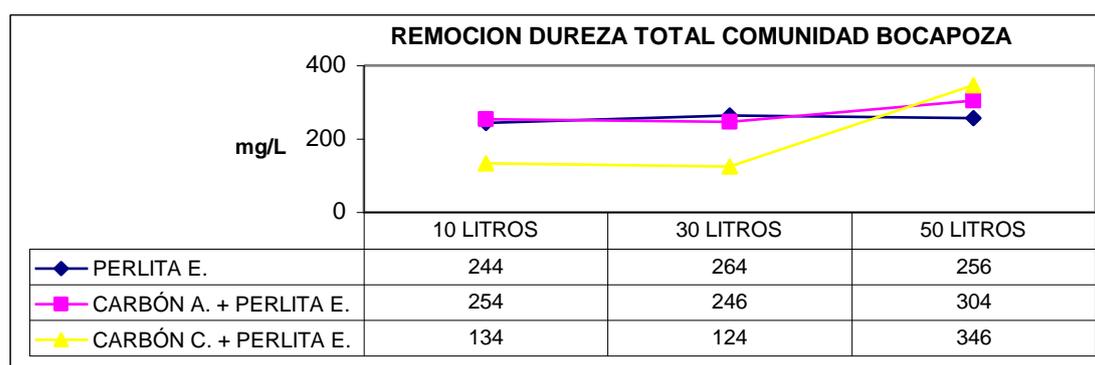
11.0 PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA POR COLUMNAS DE ADSORCIÓN

Una vez determinados los contaminantes fisicoquímicos que posee el agua lluvia y el agua de pozo de las diferentes comunidades, se procedió a descontaminar el agua, pasando muestras colectadas de estas a través de diversas columnas de adsorción que contenían diferentes adsorbentes. Posteriormente a la salida de las columnas de manera analítica se determinaban las concentraciones de las sustancias que se deseaban remover (ver anexo 8), con el objeto de evaluar la capacidad de remoción y la afinidad química de las muestras con cada una de las columnas.

11.1 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA

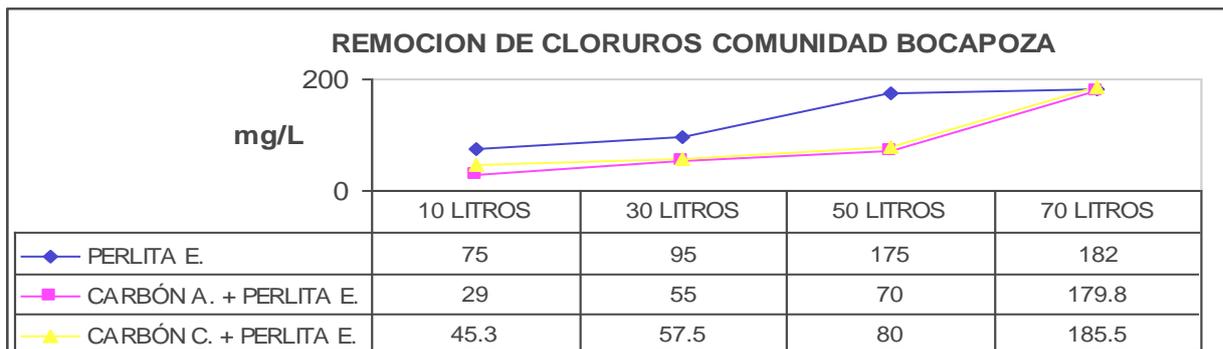
Para tratar las muestras de la comunidad Bocapoza se utilizaron las columnas de perlita expandida, carbón a. artesanal + perlita expandida y carbón a. comercial + perlita expandida. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos a tratar por cada una de las columnas son los siguientes: Dureza total (gráfica 11.1), sulfatos (gráfica 11.4), nitratos (gráfica 11.3) y cloruros (gráfica 11.2)

La gráfica 11.1 muestra que la concentración de la dureza total permanece casi constante en el caso de la columna de perlita e. y la de carbón a. + perlita e. sin embargo en el lecho de carbón comercial la concentración del contaminante sufrió leves incrementos con el aumento del volumen de agua que paso por el sistema



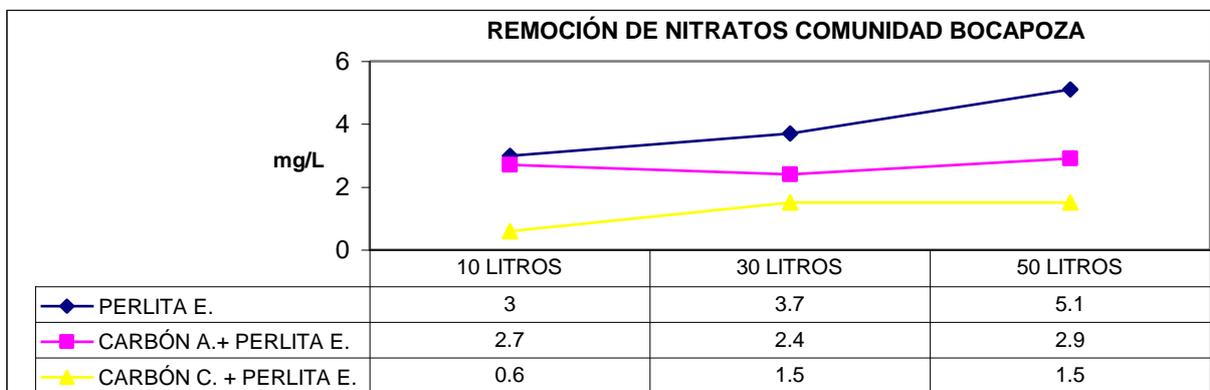
GRÁFICA 11.1: CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.2 muestra que la concentración de cloruros aumentaba en los tres sistemas ensayados con el incremento de volumen de muestras de agua que paso a través de cada una de las columnas.



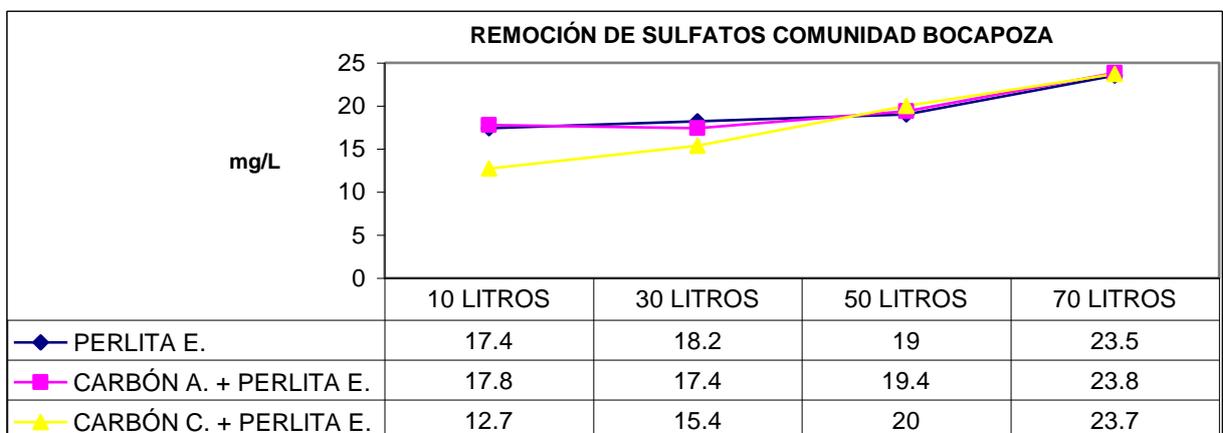
GRÁFICA 11.2: CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.3 muestra la concentración de nitratos en el efluente aumentaba con el incremento del volumen de agua que pasaba en las columnas, lo cual fue mayor para el lecho de perlita expandida.



GRÁFICA 11.3: CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.4 muestra que la concentración de sulfatos aumentaba en los tres lechos adsorbentes ensayados y que este incremento se relaciona con la mayor cantidad de muestras de agua que pasaron por el sistema.



GRÁFICA 11.4: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

11.1.1 REMOCIÓN DE BORO DE MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA

En las muestras de agua de pozo de la comunidad Bocapoza se encontraron altas concentraciones de boro, por lo cual con efecto de investigar aunque no ha profundidad como en los otros parámetros, se hicieron pruebas de remoción en perlita expandida, carbón artesanal y carbón comercial, los resultados se presentan en la tabla 11.1

TABLA 11.1: CONCENTRACIÓN DE BORO (mg/L)

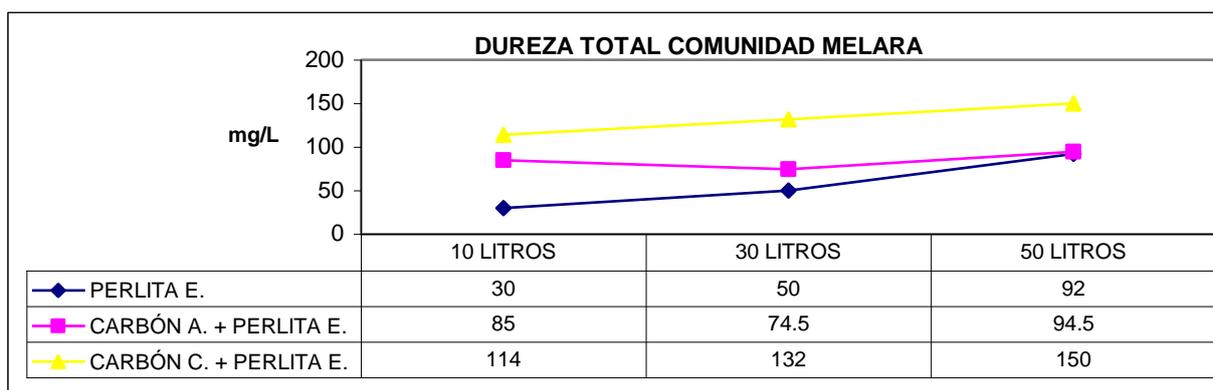
COLUMNA	10 LITROS	30 LITROS
PERLITA EXPANDIDA	0.71	1.01
CARBÓN ARTESANAL+PERLITA E.	0.91	-----
CARBÓN COMERCIAL+PERLITA E.	0.14	-----
CONCENTRACIÓN EN EL EFLUENTE: 0.92		

Fuente: Propia

11.2 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA

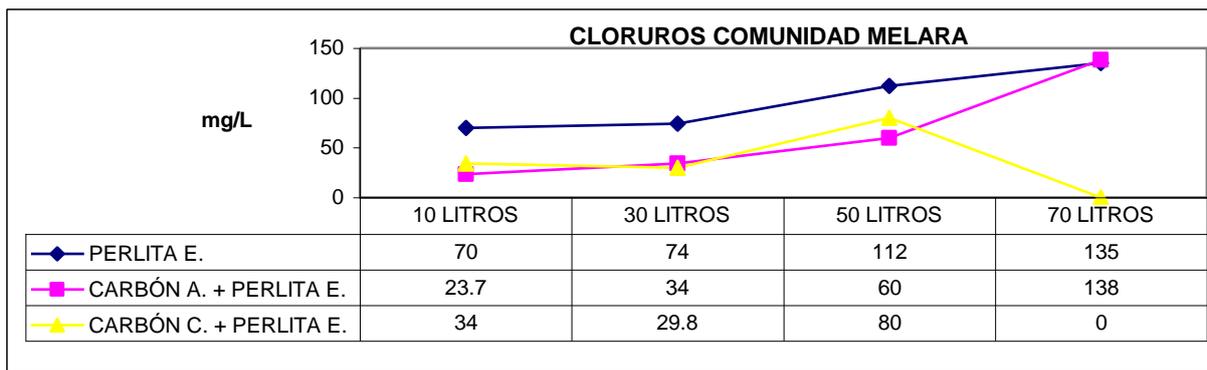
Para tratar las muestras de la comunidad Melara se utilizaron las columnas de perlita expandida, carbón activado artesanal+ perlita expandida y carbón comercial + perlita expandida. Los resultados para los parámetros dureza total (gráfica 11.5), cloruros (gráfica 11.6), nitratos (11.7) y sulfatos (11.8) son mostrados a continuación.

La gráfica 11.5 muestra que la concentración de la dureza total aumentaba en los tres lechos ensayados y que tal situación estaba relacionada con el incremento de volumen de muestras de agua que se hicieron pasar a través de las columnas, siendo mayor para el caso de el lecho de carbón a. comercial + perlita e.



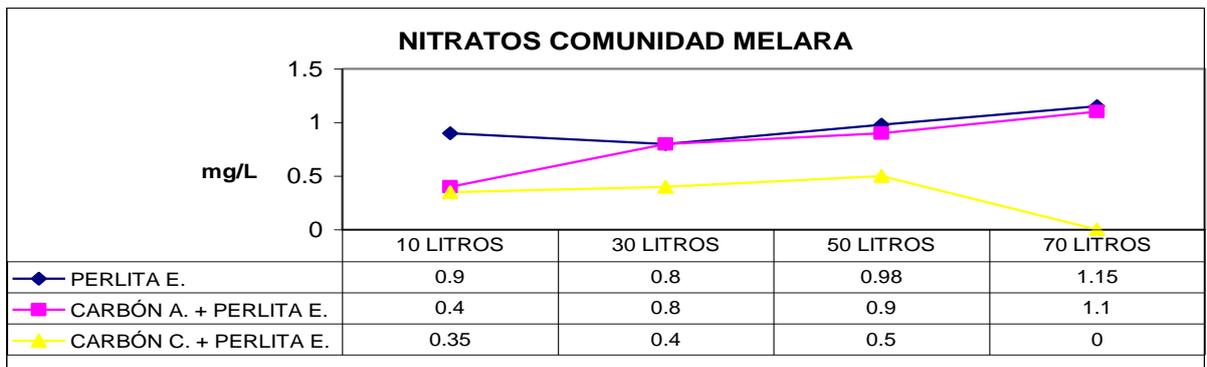
GRÁFICA 11.5: CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.6 muestra que la concentración de cloruros a la salida de los tres lechos adsorbentes aumentaba conforme se incrementaba el volumen de agua que se hizo pasar por las columnas, lo cual fue diferente para el caso de el carbón a. comercial + perlita e. el cual presentó una disminución a los 70 litros.



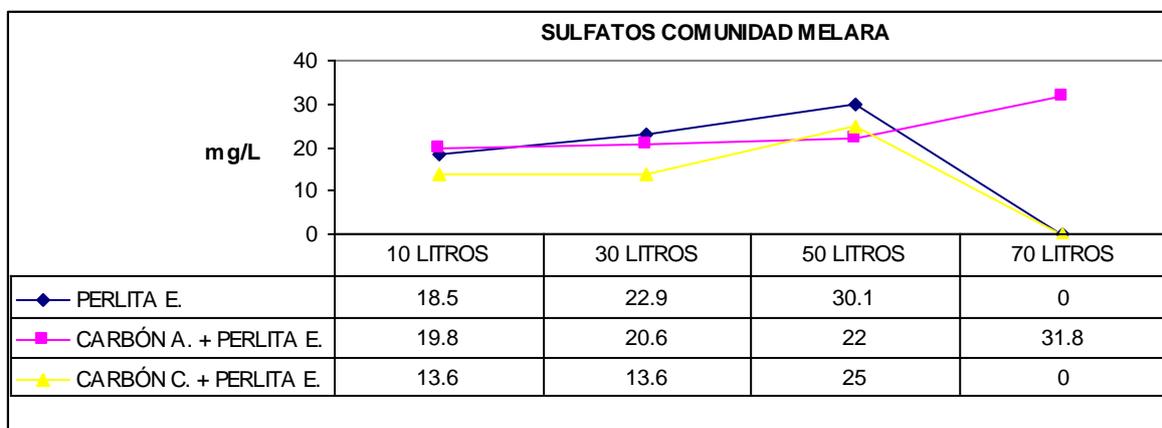
GRÁFICA 11.6: CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.7 muestra que la concentración de los nitratos en las tres columnas ensayadas aumentaron conforme se incremento el volumen de muestras de agua que se hicieron pasar por cada uno de los lechos, lo cual difiere en el caso del carbón a. comercial + perlita e. para un volumen de 70 litros



GRÁFICA 11.7: CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.8 muestra que la concentración de los sulfatos aumentó con el incremento del volumen en los tres lechos adsorbentes ensayados hasta los 50 litros, luego del cual se observó una disminución, ocurriendo lo contrario tan solo para el lecho de perlita e.

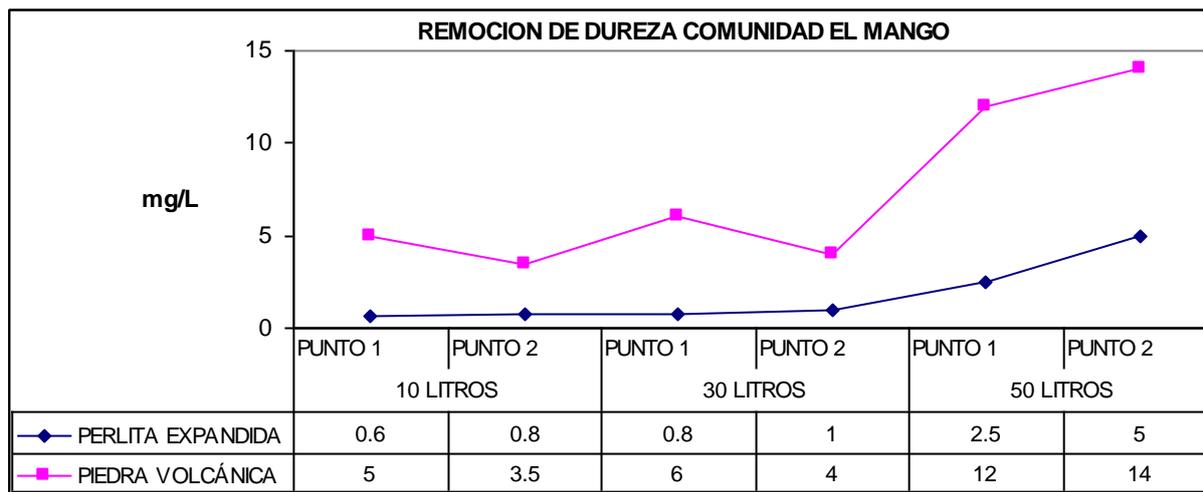


GRÁFICA 11.8: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

11.3 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE LA COMUNIDAD EL MANGO

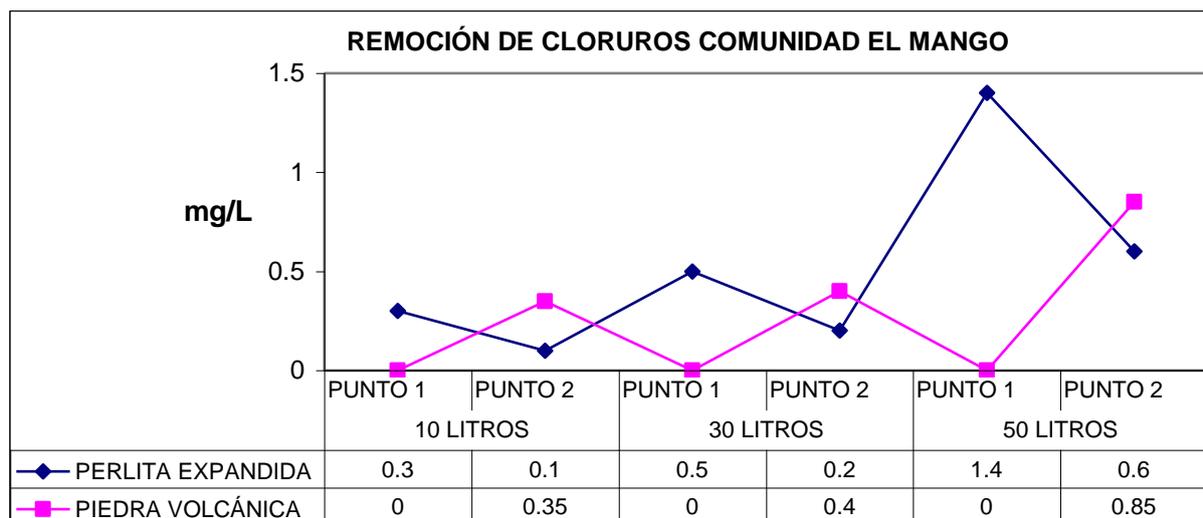
Los resultados de los análisis fisicoquímicos dureza total (gráfica 11.9), cloruros (gráfica 11.10), nitratos (gráfica 11.11) y sulfatos (gráfica 11.12) se muestran a continuación.

El gráfico 11.9 muestra que la concentración de dureza total aumentaba conforme se incrementó el volumen de agua que paso por los dos lechos.



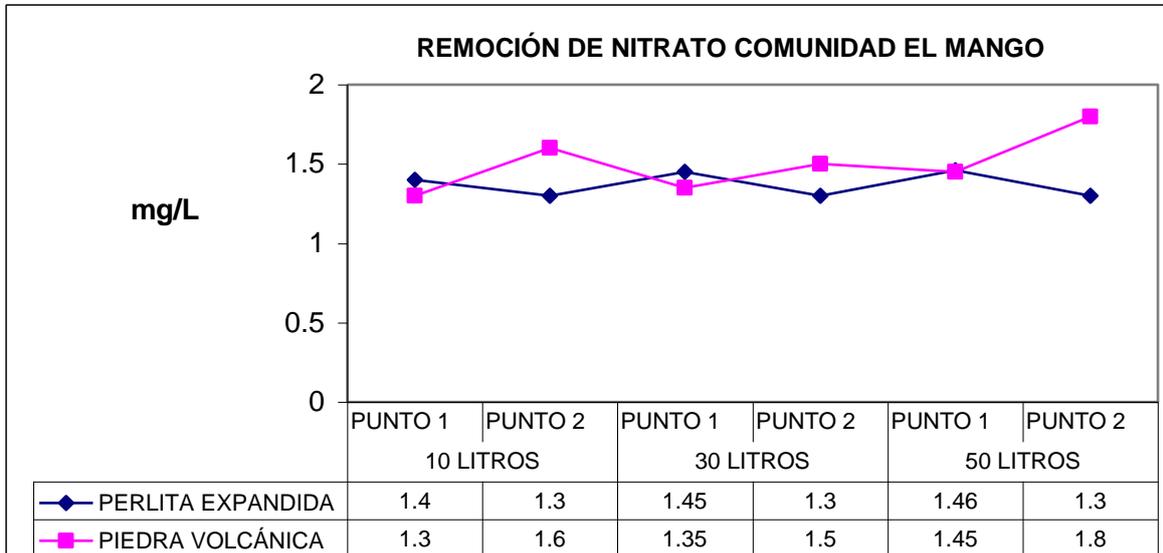
GRÁFICA 11.9: CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) (Fuente: Propia)

El gráfico 11.10 muestra que la concentración de cloruros aumentó para los dos lechos en relación con el incremento de volumen, solamente en el punto 2, mientras que en el punto 1 se observó el fenómeno contrario.



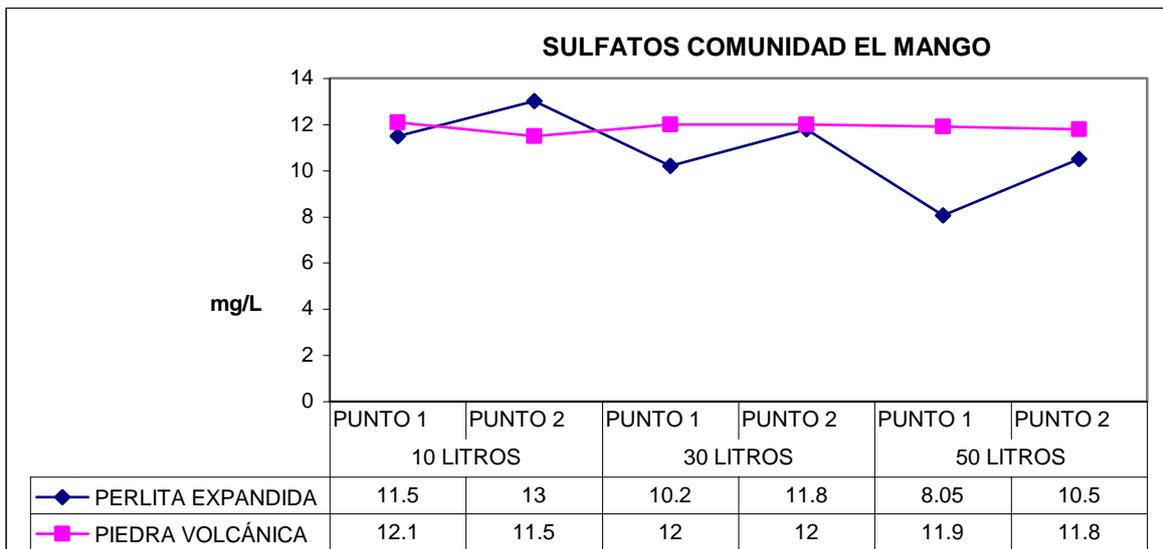
RÁFICA 11.10: CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) (Fuente: Propia)

El gráfico 11.11 muestra que la concentración de nitratos en las dos columnas ensayadas se mantuvo constantes a pesar del incremento en el volumen que paso por cada uno de los lechos.



GRÁFICA 11.11: CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.2 muestra que la concentración de sulfatos en los dos lechos ensayados se mantuvo casi constante sin importar el incremento en el volumen de agua que paso por cada uno de los lechos

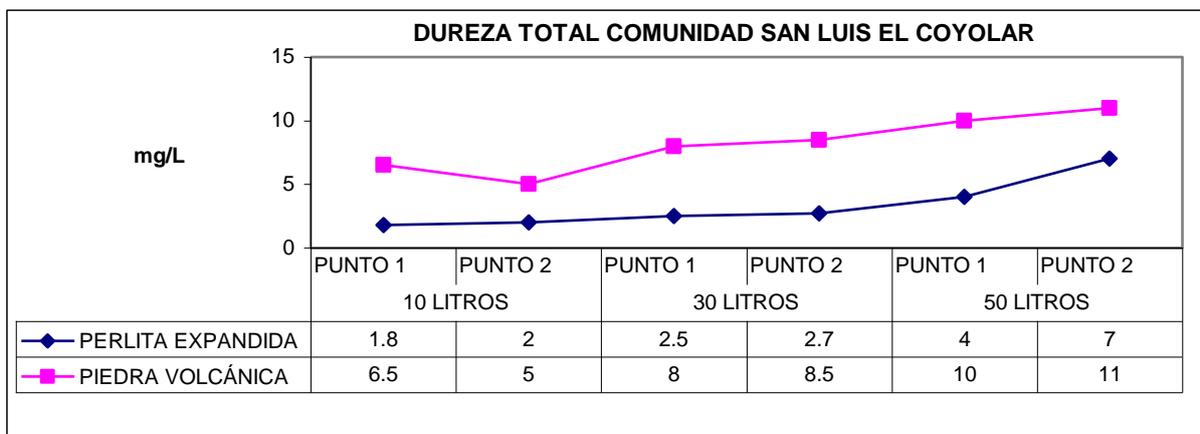


GRÁFICA 11.12: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

11.4 TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE LA COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR (PUNTO 1 Y PUNTO 2)

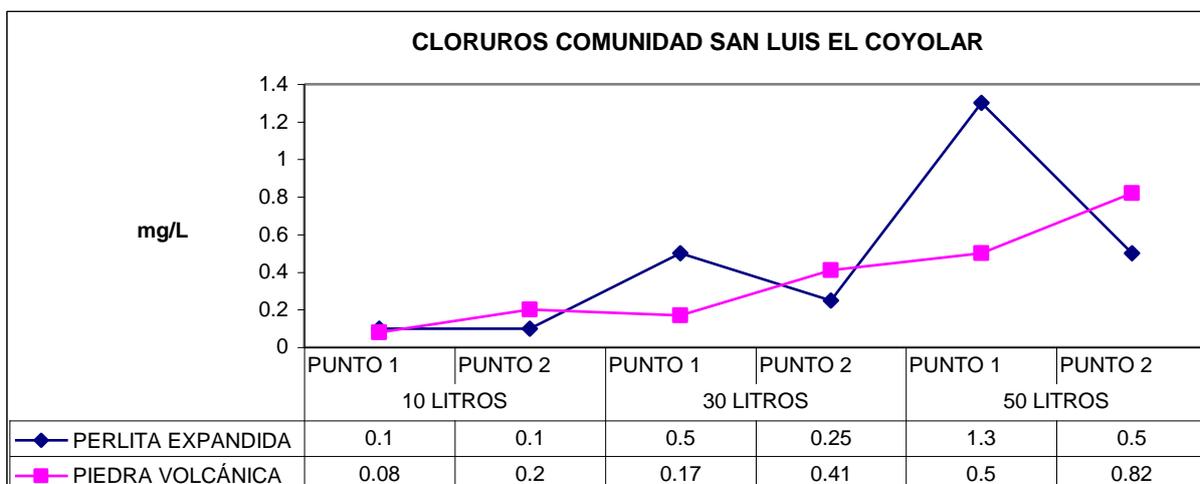
Los resultados de los análisis fisicoquímicos dureza total (gráfica 11.13), cloruros (11.14), nitratos (11.15) y sulfatos (11.16) para la comunidad de San Luis El Coyolar se muestran a continuación

El gráfico 11.13 muestra que la concentración de la dureza total en las dos columnas ensayadas aumentó levemente con el incremento del volumen de muestras de agua que pasó por cada una de ellas



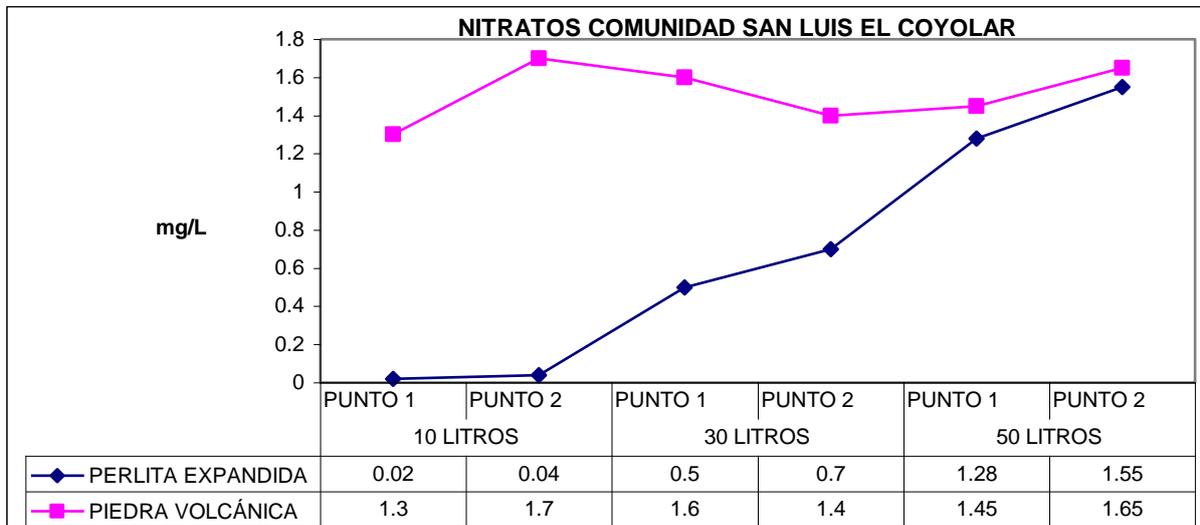
GRÁFICA 11.13: CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L) (Fuente: Propia)

El gráfico 11.14 muestra que la concentración de cloruros a la salida de las dos columnas ensayadas aumentaba conforme se incrementaba el volumen de muestras de agua que se hicieron pasar a través de los lechos.



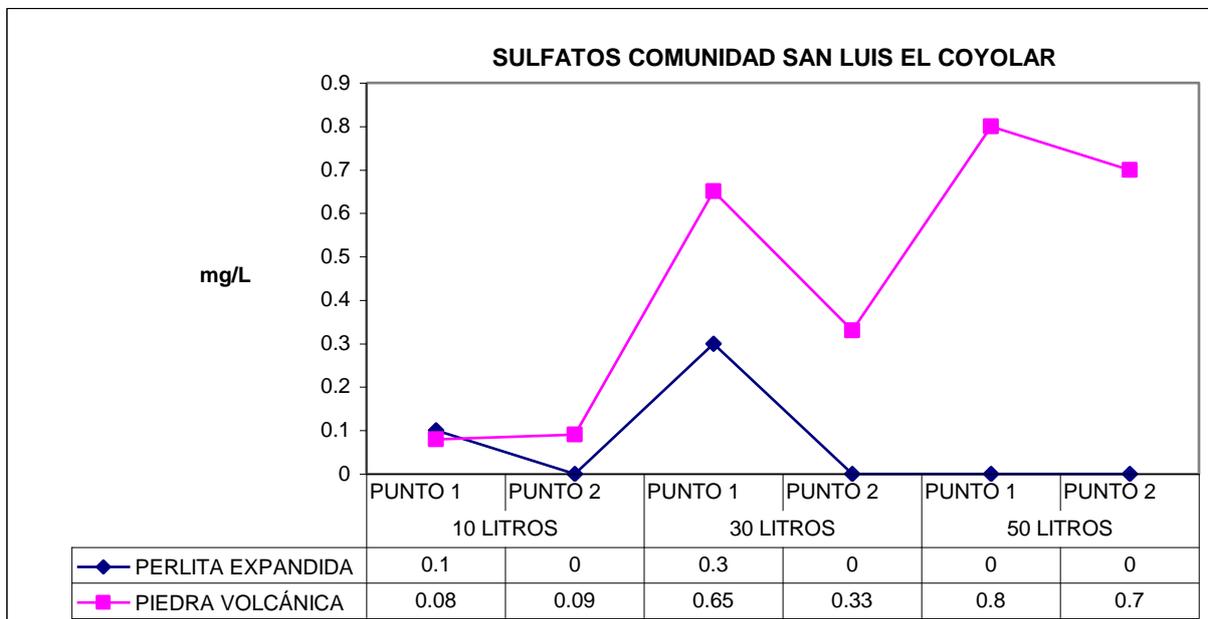
GRÁFICA 11.14: CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (mg/L) (Fuente: Propia)

El gráfico 11.15 muestra que la concentración de nitratos se incrementó con el aumento de volumen que paso por el lecho, para el caso en el que se uso la columna de perlita expandida, sin embargo ocurrió lo contrario para la columna de piedra volcánica.



GRÁFICA 11.15: CONCENTRACIÓN DE NITRATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

La gráfica 11.16 muestra que la concentración de sulfatos a la salida de las dos columnas ensayadas se incrementó a medida que aumentó el volumen de agua que paso por los lechos, siendo mayor para el caso de la piedra volcánica.



GRÁFICA 11.16: CONCENTRACIÓN DE SULFATOS (mg/L) (Fuente: Propia)

CAPÍTULO XII

12.0 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo se analizan los resultados obtenidos posteriores a que las muestras de agua de las comunidades en estudio fueron expuestas al método de descontaminación utilizando columnas de adsorción con diferentes materiales adsorbentes.

Para la realización de los cálculos de análisis se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- ↻ Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes de acuerdo al volumen del efluente.
- ↻ Comparación del porcentaje de remoción de contaminantes por cada uno de los materiales adsorbentes utilizados en cada muestra de agua.
- ↻ Determinación de la curva de ruptura, onda de adsorción e isoterma para las muestras de comunidades Melara y Bocaipoza

12.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCION DE CONTAMINANTES DE ACUERDO AL VOLUMEN DEL EFLUENTE.

Para la determinación del porcentaje de remoción de cada contaminante tratado con determinados materiales adsorbentes se utilizó la siguiente fórmula que se presenta en el anexo 9

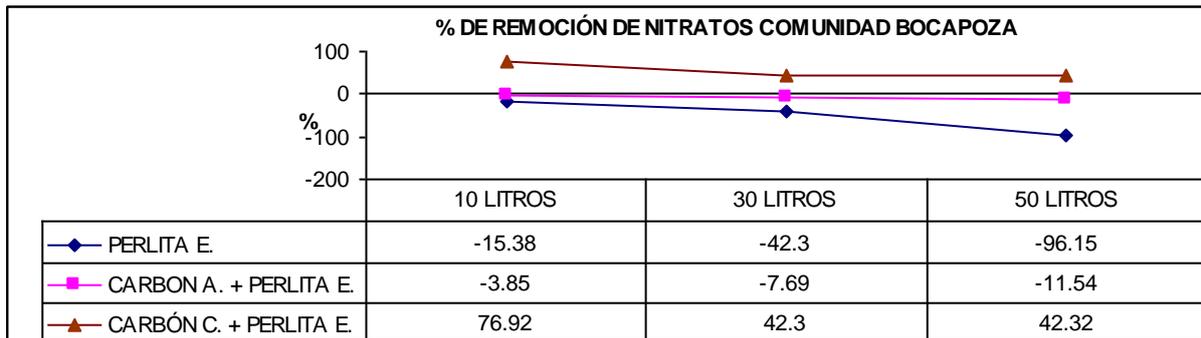
Para esquematizar el resultado se presentan gráficas del volumen utilizado vs. el porcentaje de remoción para cada uno de los parámetros utilizados.

12.1.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA

A continuación se comparan los porcentajes de remoción de nitratos (gráfica 12.1), cloruros (gráfica 12.2), dureza total (gráfica 12.3) y sulfatos (12.4), para cada una de las columnas con las que fueron tratadas las muestras de la comunidad. Las observaciones del comportamiento de las gráficas se muestra en la tabla 12.1

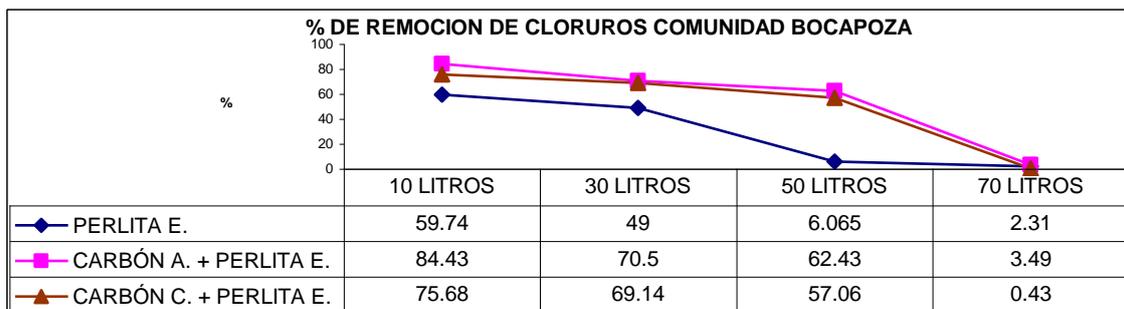
La gráfica 12.1 muestra que la columna de carbón comercial + perlita expandida ha sido la única capaz de remover este parámetro, por lo que las otras columnas generaron

contribución en la concentración de nitratos en el volumen de salida del equipo, por lo que proporcionaron datos de porcentaje de remoción negativos.



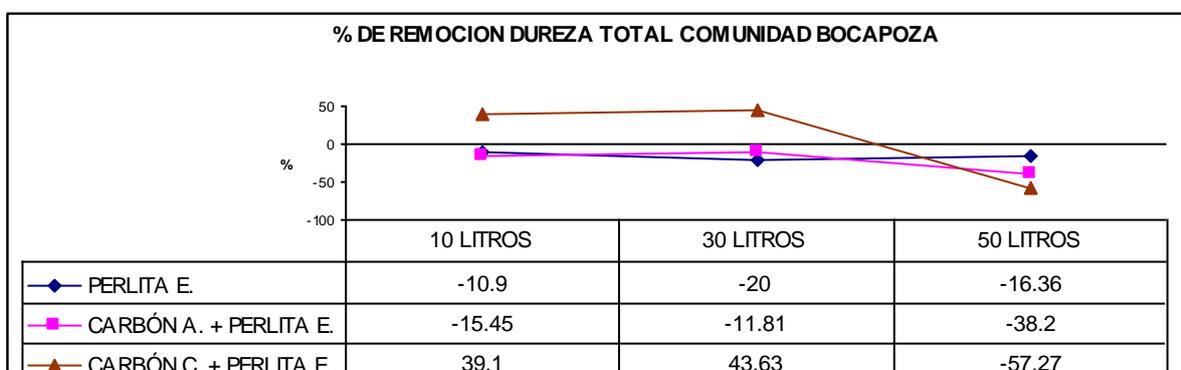
GRÁFICA 12.1: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.2 muestra que las tres columnas empleadas en la remoción de cloruros fueron eficaces, disminuyendo la capacidad de cada una de ellas a medida que aumentaba el volumen de agua que paso por las columnas.



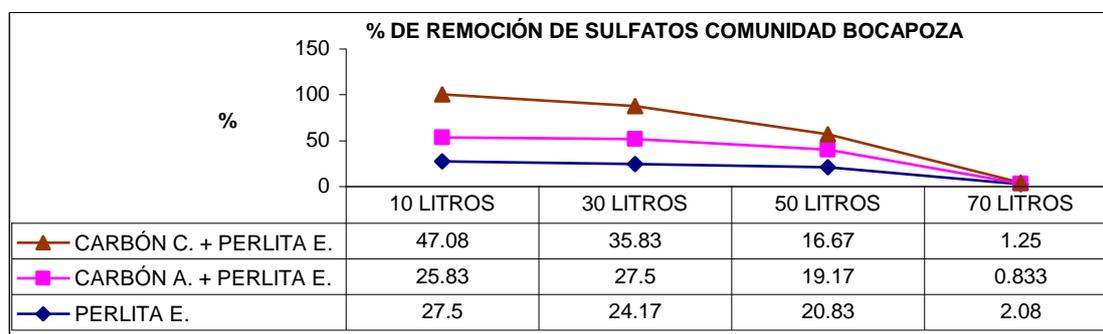
GRÁFICA 12.2: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.3 muestra que únicamente la columna de carbón comercial + perlita expandida fue capaz de remover dureza total de las muestras de agua, lo cual fue posible únicamente hasta un volumen aproximado de 30 litros, mientras que las restantes columnas aportaron contaminación a la muestras, dando como resultado porcentajes de remoción negativos



GRÁFICA 12.3: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA (Fuente: Propia)

La gráfica 12.4 muestra que las tres columnas utilizadas para la remoción de sulfatos fueron eficaces, sin embargo la cantidad de sulfatos adsorbidos disminuyó a medida que aumentaba el volumen de las muestras de agua que paso por cada una de las columnas.



GRÁFICA 12.4: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS (Fuente: Propia)

En la tabla 12.1 se puede apreciar cual es la columna que mejor remueve cada uno de los contaminantes analizados, además de incluir cuales de estos no son eliminados.

TABLA 12.1: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA

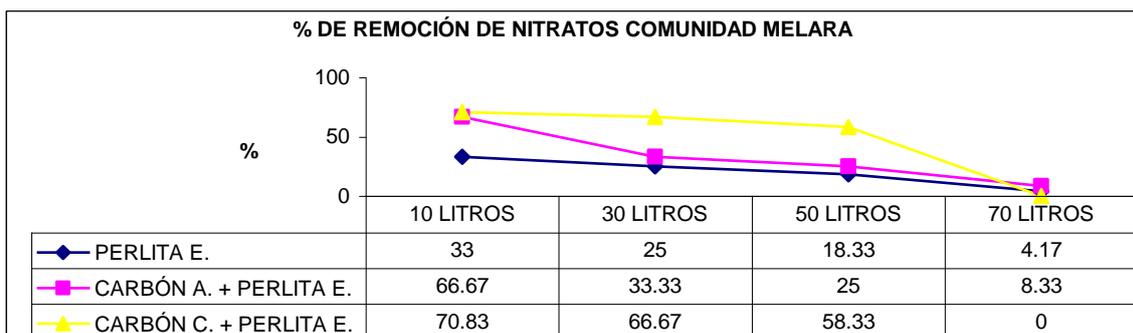
PARÁMETRO	COLUMNA QUE MEJOR REMUEVE EL CONTAMINANTE	VOLUMEN DE MAYOR % DE REMOCIÓN	COLUMNA QUE NO REMUEVE EL CONTAMINANTE
NITRATOS	Carbón c. +perlita e.	10 L	Carbón a. + perlita e. y perlita e.
SULFATOS	Carbón c. +perlita e.	10 L	-----
CLORUROS	Carbón a. +perlita e.	10 L	-----
DUREZA T.	Carbón c. +perlita e.	30 L	Carbón a. + perlita e. y perlita e.

Fuente: Propia

12.1.2 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA DE POZO DE COMUNIDAD MELARA

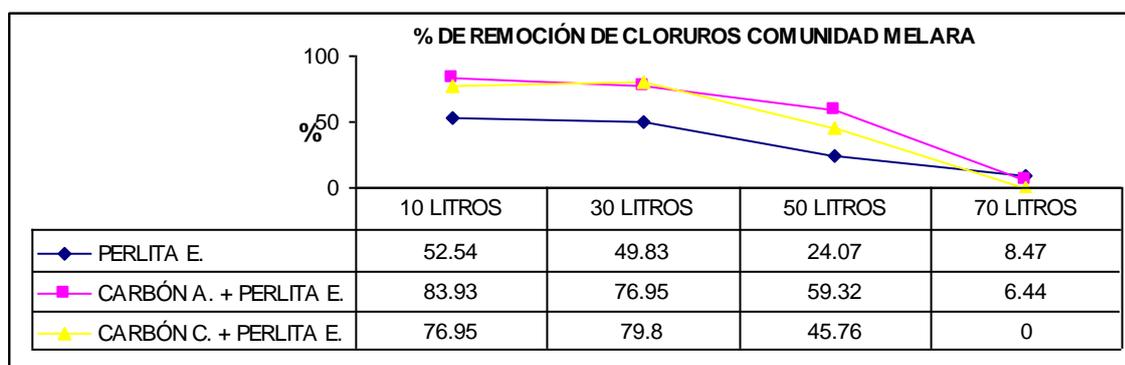
La remoción de nitratos (gráfica 12.5), cloruros (gráfica 12.6), dureza (gráfica 12.7) y sulfatos (gráfica 12.8) es mostrada en forma de porcentaje, posterior al cual se presentan observaciones (tabla 12.2) sobre el comportamiento mostrado por las gráficas.

La gráfica 12.5 muestra que la remoción de nitratos fue llevada a cabo por las tres columnas de adsorción utilizadas siendo mayor para la de carbón comercial + perlita expandida y menor casi constante para la de perlita expandida.



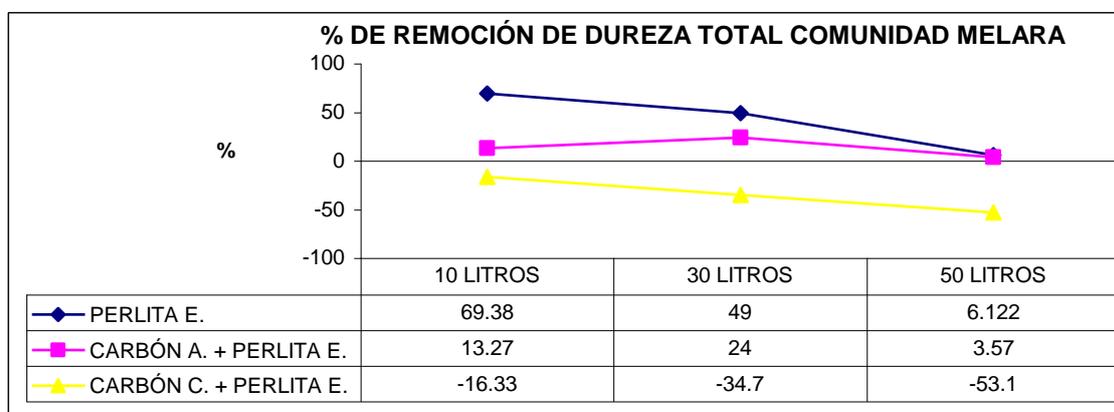
GRÁFICA 12.5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.6 muestra que la remoción de cloruros fue llevada a cabo por las tres columnas ensayadas, siendo mayor para la de carbón artesanal + perlita expandida y menor para la de perlita e. Además la remoción disminuyó a medida que aumentaba el volumen de agua que pasó por la columna.



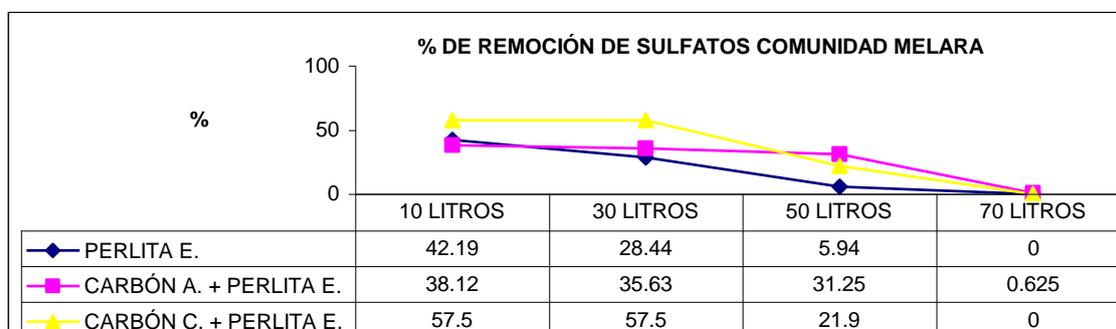
GRÁFICA 12.6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.7 muestra que la columna de perlita e. es la que mejor removi6 dureza, mientras que la de carb6n comercial + perlita e. aport6 contaminaci6n de dureza a la muestra, por lo que gener6 un porcentaje de remoci6n negativo.



GRÁFICA 12.7: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA (Fuente: Propia)

La gráfica 12.8 muestra que las tres columnas removieron sulfatos, siendo la de carbón c. + perlita e. la que mejor lo hizo mientras que la de perlita expandida en la que menos adsorbió sulfatos. El porcentaje disminuyó a medida que aumentaba el volumen tratado lo cual no se cumple para la columna de carbón a. + perlita e., en la cual el porcentaje aumentaba con el aumento del volumen tratado.



GRÁFICA 12.8: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS (Fuente: Propia)

En la tabla 12.2 se puede apreciar cual es la columna que mejor remueve cada uno de los contaminantes analizados, además de incluir cuales de estos no son eliminados.

TABLA 12.2: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA

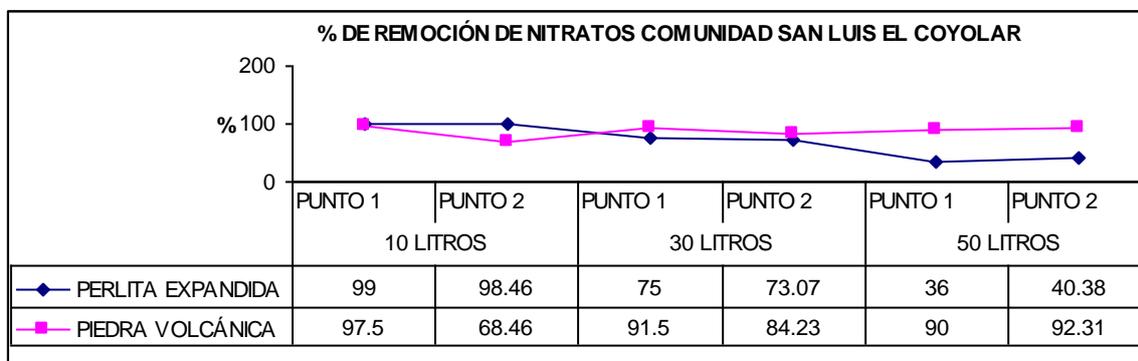
PARÁMETRO	COLUMNA QUE MEJOR REMUEVE EL CONTAMINANTE	VOLUMEN DE MAYOR % DE REMOCIÓN	COLUMNA QUE NO REMUEVE EL CONTAMINANTE
NITRATOS	Carbón c. +perlita e.	10 L	-----
SULFATOS	Carbón c. +perlita e.	10 L y 30 L	-----
CLORUROS	Carbón a. +perlita e.	10 L	-----
DUREZA T.	Perlita e.	10 L	Carbón c. + perlita e. y perlita e.

Fuente: Propia

12.1.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

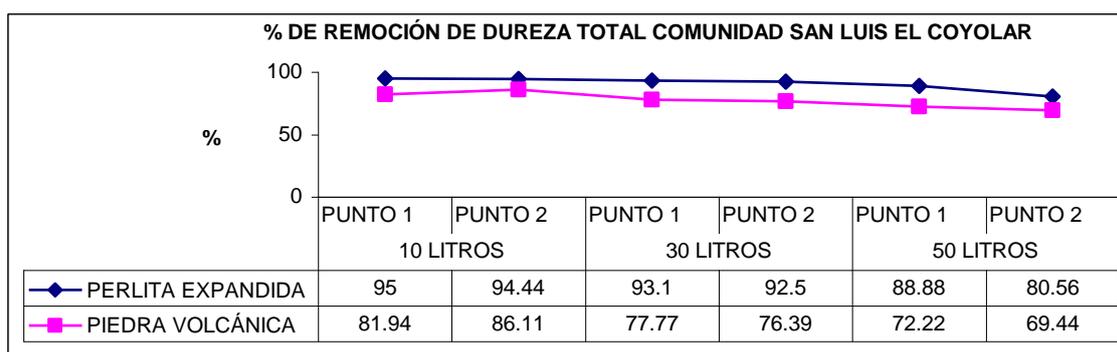
La remoción para los parámetros de nitratos (gráfica 12.9), cloruros (12.10), dureza (12.11) y sulfatos (12.12), se esquematiza en porcentaje de remoción a continuación, posteriormente se presentan observaciones (tabla 12.3) sobre los comportamientos que muestran las gráficas

La gráfica 12.9 muestra que la perlita e. removi6 nitratos en los puntos analizados y que la remoci6n disminuy6 a medida que aumentaba el volumen tratado mientras que la columna de piedra volc6nica mantuvo una alta remoci6n casi constante independiente del volumen tratado.



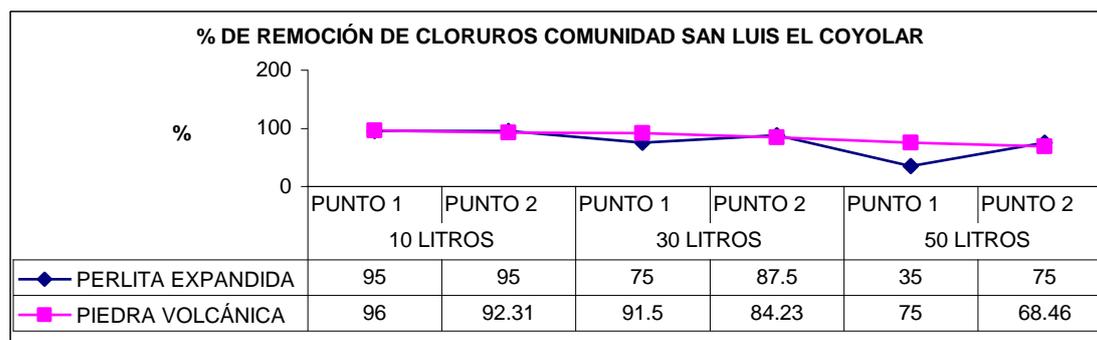
GR6FICA 12.9: PORCENTAJE DE REMOCI6N DE NITRATOS (Fuente: Propia)

En la gr6fica 12.10 se observa que la remoci6n de dureza es aproxima entre s6 para las dos columnas ensayadas disminuyendo a medida que aumentaba el volumen tratado.



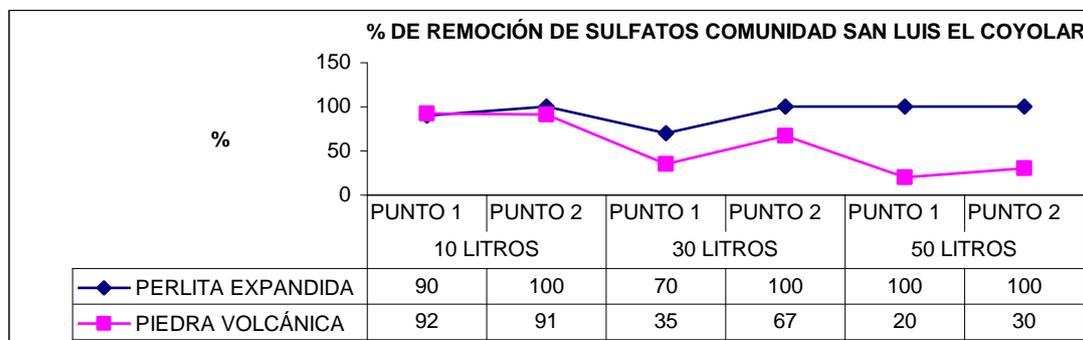
GR6FICA 12.10: PORCENTAJE DE REMOCI6N DE DUREZA (Fuente: Propia)

La gr6fica 12.11 muestra que la remoci6n de cloruros fue llevada a cabo casi en igual porcentaje de remoci6n por ambas columnas, disminuyendo este a medida que aumentaba el volumen.



GR6FICA 12.11: PORCENTAJE DE REMOCI6N DE CLORUROS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.12 muestra que la remoción de sulfatos fue mayor en la columna de perlita e. y que este se mantuvo casi constante sin importar el volumen tratado, mientras que en la columna de piedra volcánica se observa que se dió una menor remoción la cual para el caso del punto 1 disminuyó a medida que aumentaba el volumen, siendo en menor escala para el punto 2.



GRÁFICA 12.12: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS (Fuente: Propia)

En la tabla 12.3 se puede apreciar cual es la columna que mejor remueve cada uno de los contaminantes analizados, además de incluir cuales de estos no son eliminados.

TABLA 12.3: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

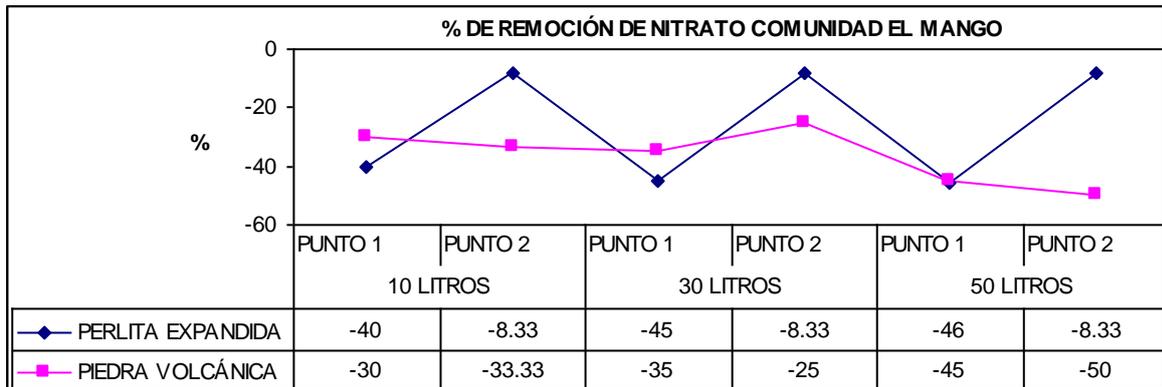
PARÁMETRO	COLUMNA QUE MEJOR REMUEVE EL CONTAMINANTE	VOLUMEN DE MAYOR % DE REMOCIÓN	COLUMNA QUE NO REMUEVE EL CONTAMINANTE
NITRATOS	Piedra volcánica	10 L	-----
SULFATOS	Perlita expandida	30 y 50 L	-----
CLORUROS	Piedra volcánica	30 y 50 L	-----
DUREZA T.	Perlita expandida	10 Y 30 L	-----

Fuente: Propia

12.1.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PARA MUESTRAS DE AGUA LLUVIA DE COMUNIDAD EL MANGO

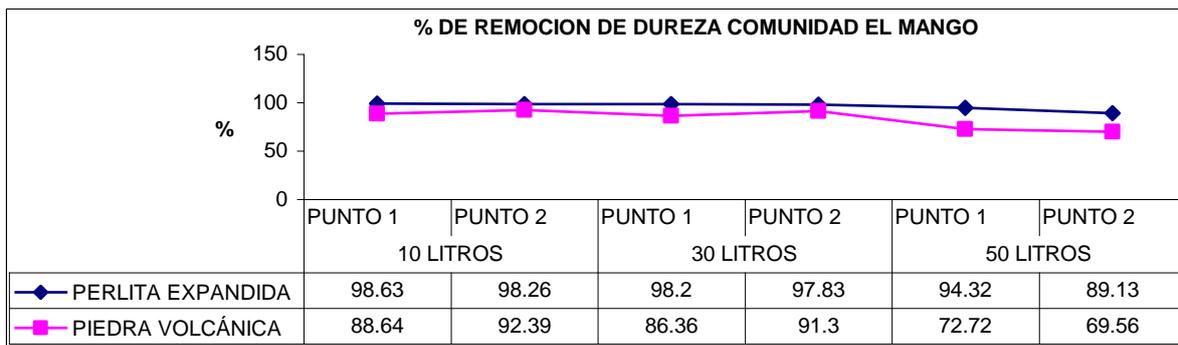
Para la comunidad el Mango, la remoción de parámetros nitratos (gráfica 12.13), cloruros (gráfica 12.14), dureza (gráfica 12.15) y sulfatos (12.16) se muestra en porcentaje de remoción, posterior a ello se presenta la tabla 12.4 en la que se detallan observaciones del comportamiento de las gráficas.

La gráfica 12.13 muestra que ninguna de las columnas removió nitratos, por lo cual hubo generación de porcentajes de remoción negativos.



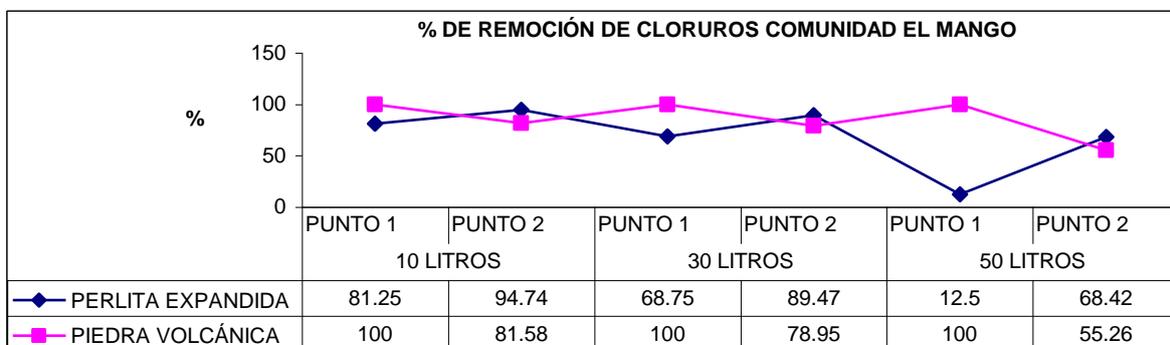
GRÁFICA 12.13: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATOS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.14 refleja que las dos columnas ensayadas removieron dureza casi en igual porcentaje, independiente del volumen que pasó por el equipo de adsorción.



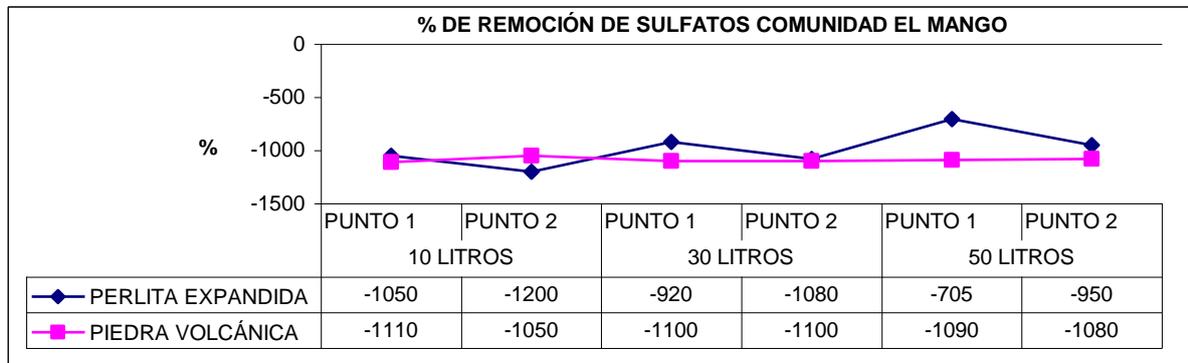
GRÁFICA 12.14: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DUREZA (Fuente: Propia)

La gráfica 12.15 muestra que la remoción de cloruros fue casi igual para las dos columnas ensayadas en el punto 2, mientras que en el punto 1 se dio una mayor remoción en la columna de piedra volcánica.



GRÁFICA 12.15: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CLORUROS (Fuente: Propia)

La gráfica 12.16 muestra que los sulfatos no pudieron ser removidos por ninguna de las dos columnas ensayadas, generando además contaminación en las muestras de agua, lo cual se refleja en porcentajes de remoción negativos.



GRÁFICA 12.16: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFATOS (Fuente: Propia)

En la tabla 12.4 se puede apreciar cual es la columna que mejor remueve cada uno de los contaminantes analizados, además de incluir cuales de estos no son eliminados.

TABLA 12.4: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD EL MANGO

PARÁMETRO	COLUMNA QUE MEJOR REMUEVE EL CONTAMINANTE	VOLUMEN DE MAYOR % DE REMOCIÓN	COLUMNA QUE NO REMUEVE EL CONTAMINANTE
NITRATOS	-----	10 L	Piedra volcánica y perlita e.
SULFATOS	Perlita expandida	50 L	-----
CLORUROS	Piedra volcánica	10 L	-----
DUREZA T.	Perlita expandida	10 Y 50 L	-----

Fuente: Propia

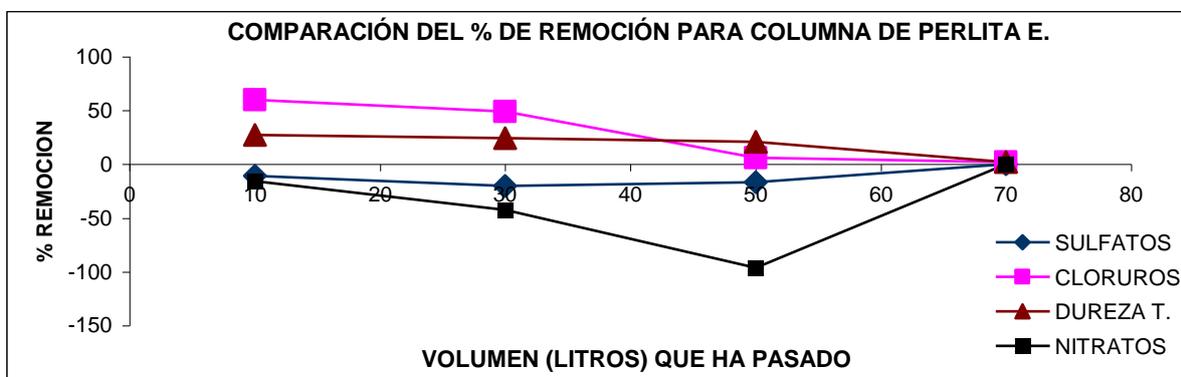
12.4 COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR CADA UNO DE LOS MATERIALES ADSORBENTES UTILIZADOS EN CADA MUESTRA DE AGUA.

La comparación de la remoción de los lechos adsorbentes para cada grupo de contaminantes en las diferentes muestras, es una forma de determinar la manera en que actúan las columnas frente al conjunto de parámetros que se desea eliminar.

12.4.1 REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD DE BOCAPOZA

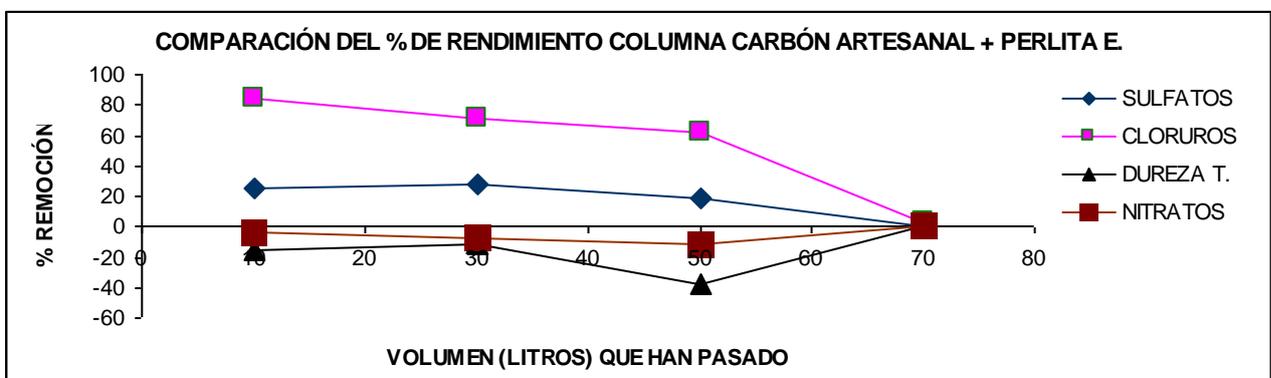
A continuación se compara el comportamiento de lecho adsorbente de columna de perlita expandida (gráfica 12.17), carbón artesanal + perlita e. (12.18) y carbón comercial + perlita e. (12.19) en la remoción de los cuatros parámetros estudiados en el presente proyecto. Las observaciones de los de las gráficas se presentan en la tabla 12.5

En la gráfica 12.17 se muestra que la columna de perlita expandida fue capaz de remover cloruros y dureza total y que dicha remoción disminuyó a medida que aumentó el volumen de muestra tratado, mientras que la concentración de los sulfatos y los nitratos se incrementó en las muestras de agua



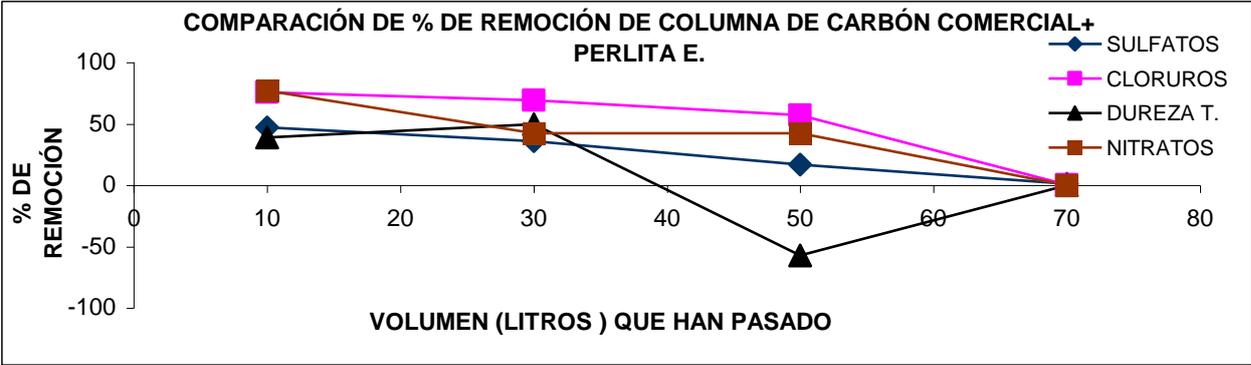
GRÁFICA 12.17: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.18 muestra que la columna de carbón artesanal + perlita expandida fue capaz de remover cloruros y sulfatos, y que este porcentaje disminuyó a medida que aumentaba el volumen de agua que pasaba por los lechos adsorbentes. Sin embargo la columna no fue capaz de remover nitratos y dureza total.



GRÁFICA 12.18: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.19 muestra que la columna de carbón comercial + perlita expandida fue capaz de remover las cuatros sustancias químicas ensayadas, disminuyendo la capacidad de remoción con el volumen de muestras de agua que pasaba por la columna, sin embargo la dureza fue removida únicamente hasta un volumen de 30 litros luego del cual se incrementó la concentración del contaminantes a la salida del lecho.



GRÁFICA 12.19: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. COMERCIAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La tabla 12.5 muestra el contaminante mejor adsorbida por cada una de las columnas, además cual de las sustancias químicas no fueron removidas por cada uno de los lechos.

TABLA 12.5: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD BOCAPOZA

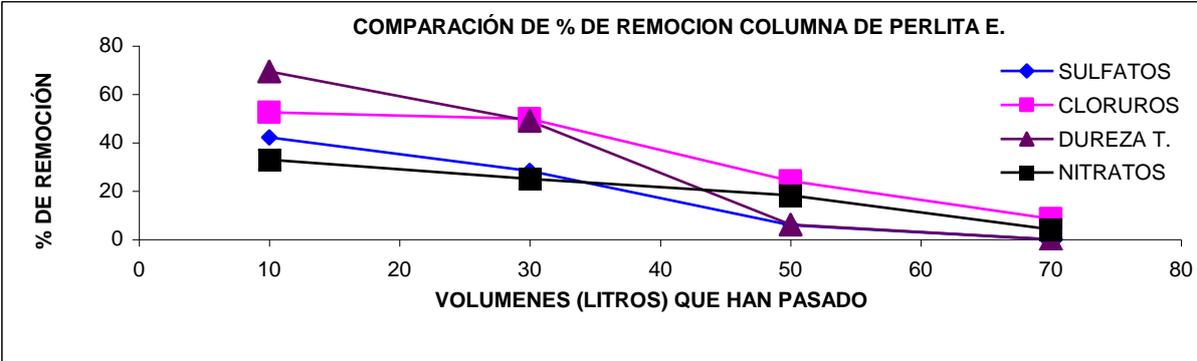
COLUMNA	CONTAMINANTE MEJOR ADSORBIDO	VOLUMEN DE MAYOR ADSORCIÓN	CONTAMINANTE NO ADSORBIDO
Perlita E.	Cloruros	10 L	Nitratos y sulfatos
Carbón a. + Perlita E.	Cloruros	10 L	Nitratos y dureza t.
Carbón c. + Perlita e.	Cloruros	10 L	-----

Fuente Propia

12.4.2 REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA

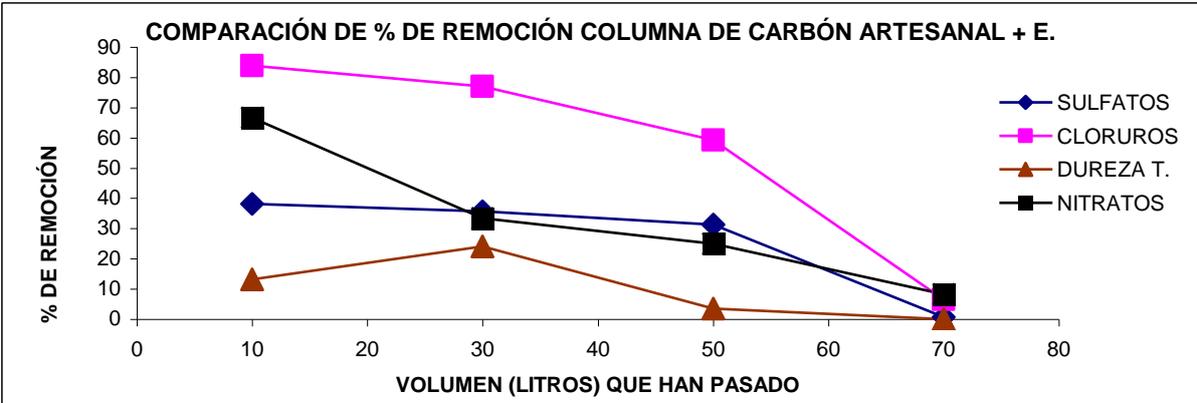
Para la comunidad Melara la remoción de contaminantes se llevó a cabo en lechos de perlita expandida (gráfica 12.20), carbón a. artesanal + perlita expandida (gráfica 12.21) y carbón a. comercial + perlita expandida (12.22) los resultados y observaciones (tabla 12.6) se muestran a continuación.

La gráfica 12.20 muestra que la columna de perlita expandida fue capaz de remover todas las sustancias químicas ensayadas, disminuyendo el porcentaje de remoción a medida que aumentaba el volumen de muestra tratada.



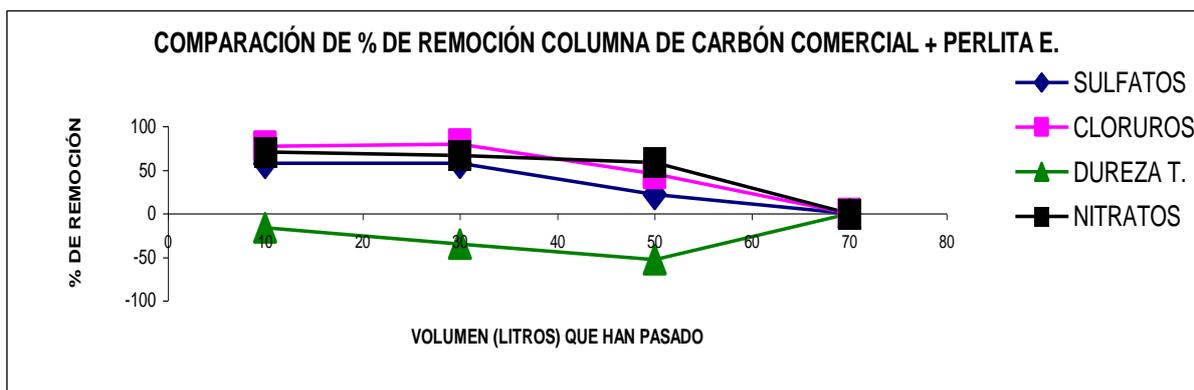
GRÁFICA 12.20: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.21 muestra que la columna de carbón a. artesanal + perlita expandida removió todas las sustancias químicas ensayadas y que el porcentaje de remoción disminuyó con el aumento de volumen de agua que pasó por la columna, lo cual fue diferente para el caso de dureza que fue removida en mayor cantidad a 30 litros en vez de a 10 litros.



GRÁFICA 12.21: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.22 muestra que la columna de carbón a. comercial + perlita expandida removió la mayoría de contaminantes ensayados a excepción de la dureza total, la cual fue incrementada en el efluente. Sin embargo las demás sustancias químicas presentaron el mismo comportamiento disminuyendo el porcentaje de remoción a medida que aumentaba el volumen de agua que pasaba por el lecho.



GRÁFICA 12.22: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE CARBÓN A. COMERCIAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La tabla 12.6 muestra el contaminante mejor adsorbida por cada una de las columnas, además cual de las sustancias químicas no fueron removidas por cada uno de los lechos.

TABLA 12.6: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD MELARA

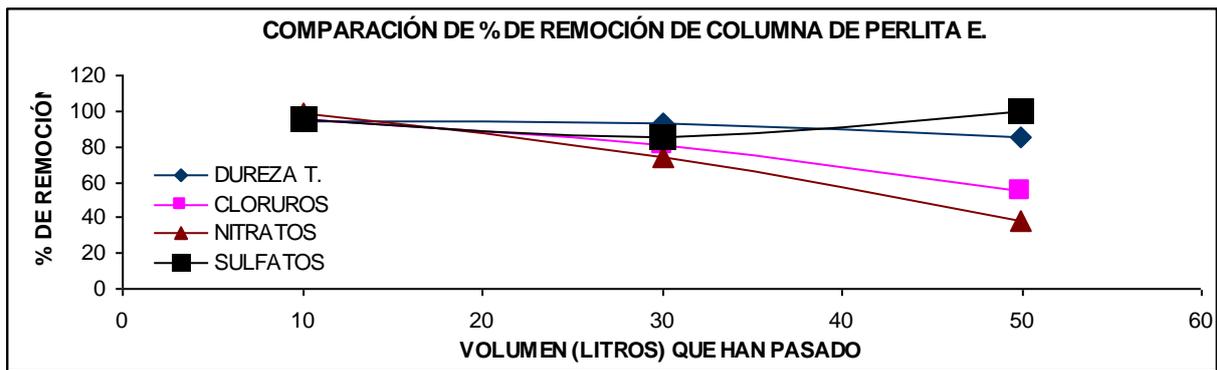
COLUMNA	CONTAMINANTE MEJOR ADSORBIDO	VOLUMEN DE MAYOR ADSORCIÓN	CONTAMINANTE NO ADSORBIDO
Perlita E.	Dureza	10 L	-----
Carbón a. + Perlita E.	Cloruros	10 L	-----
Carbón c. + Perlita e.	Cloruros	10 L	Dureza

Fuente: Propia

12.4.3 REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE SAN LUIS EL COYOLAR

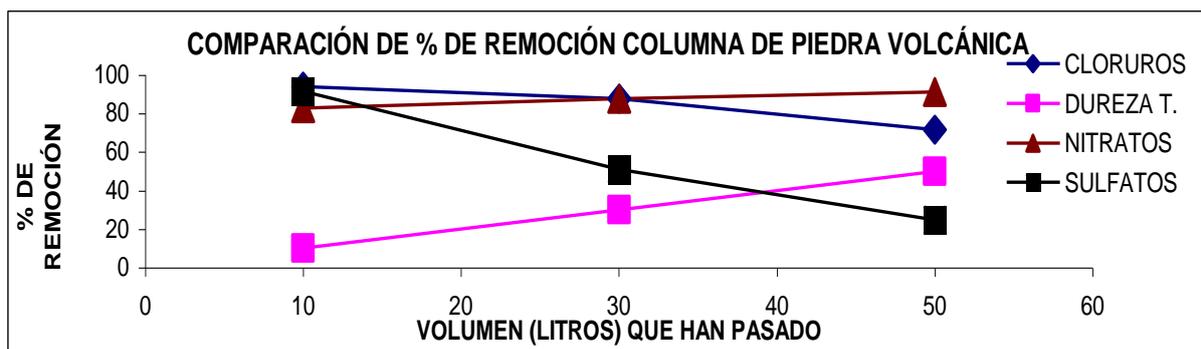
Las columnas utilizadas para el tratamiento de las muestras de agua fueron la de perlita expandida (gráfica 12.23) y piedra volcánica (12.24) y los resultados y las observaciones (tabla 12.7) se muestran a continuación.

La gráfica 12.23 muestra que la columna de perlita expandida fue capaz de remover las cuatro sustancias químicas analizadas, sin embargo a excepción de los sulfatos cuyo porcentaje de remoción aumentó con el aumento del volumen que pasó por el lecho, los demás parámetros disminuyeron con el incremento del volumen de agua que pasó por la columna.



GRÁFICA 12.23: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA E
(Fuente: Propia)

La gráfica 12.24 muestra que la columna de piedra volcánica removió los cuatro contaminantes ensayados, sin embargo para el caso de la dureza total y los nitratos, la remoción fue mayor conforme aumentaba el volumen de agua que pasaba por el lecho, caso contrario ocurrió para la remoción de sulfatos y cloruros.



GRÁFICA 12.24: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA (Fuente: Propia)

La tabla 12.7 muestra el contaminante mejor adsorbido por cada una de las columnas, además cual de las sustancias químicas no fueron removidas por cada uno de los lechos.

TABLA 12.7: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD SAN LUIS EL COYOLAR

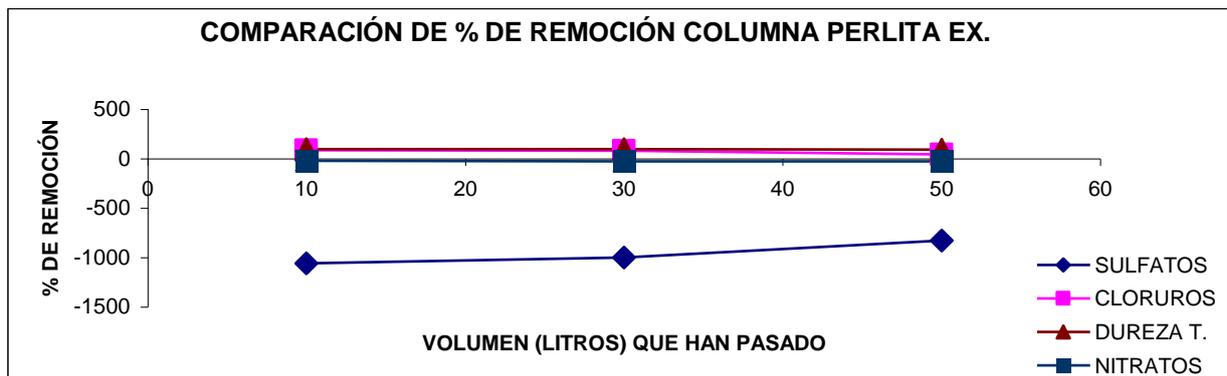
COLUMNA	CONTAMINANTE MEJOR ADSORBIDO	VOLUMEN DE MAYOR ADSORCIÓN	CONTAMINANTE NO ADSORBIDO
Perlita E.	Dureza	10 L	-----
Piedra volcánica	Nitratos	10 L	-----

Fuente: Propia

12.4.4 REMOCIÓN DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE EL MANGO

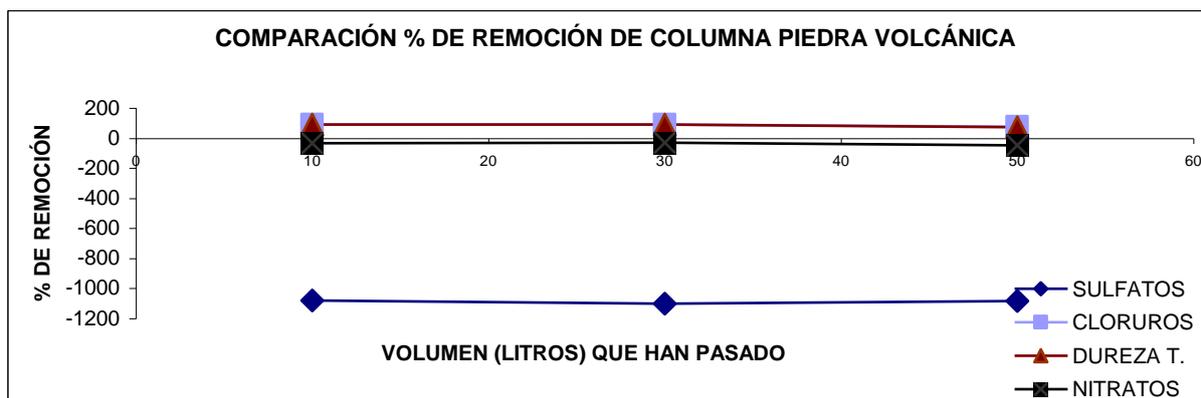
Las muestras provenientes de agua lluvia de la Comunidad El Mango fueron tratadas con piedra volcánica (gráfica 12.26) y perlita expandida (gráfica 12.25) como medios adsorbentes, los resultados y las observaciones (tabla 12.8) de la remoción se presentan a continuación.

La gráfica 12.25 muestra que la columna de perlita expandida removió nitratos, cloruros y dureza total casi en la misma magnitud y de manera constante en relación con el volumen de agua tratada, sin embargo no fue capaz de remover los sulfatos.



GRÁFICA 12.25: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PERLITA EXPANDIDA (Fuente: Propia)

La gráfica 12.26 muestra que la columna de piedra volcánica removió cloruros, dureza total y nitratos casi de manera igual y en forma constante sin importar el volumen del efluente tratado. Sin embargo el lecho no fue capaz de remover los sulfatos los cuales sufrieron un incremento generándose por ello porcentajes de remoción negativos.



GRÁFICA 12.26: REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LA COLUMNA DE PIEDRA VOLCÁNICA (Fuente: Propia)

La tabla 12.8 muestra el contaminante mejor adsorbida por cada una de las columnas, además cual de las sustancias químicas no fueron removidas por cada uno de los lechos.

TABLA 12.8: OBSERVACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE REMOCION DE COLUMNAS EN MUESTRAS DE AGUA DE COMUNIDAD EL MANGO

COLUMNA	CONTAMINANTE MEJOR ADSORBIDO	VOLUMEN DE MAYOR ADSORCIÓN	CONTAMINANTE NO ADSORBIDO
Perlita E.	Cloruros	10 L	Nitratos y sulfatos
Piedra volcánica	Dureza	10 L	Nitratos y sulfatos

Fuente: Propia

12.5 DETERMINACIÓN DE LAS CURVA DE RUPTURA, ONDA DE ADSORCIÓN E ISOTERMA PARA LAS MUESTRAS DE COMUNIDADES MELARA Y BOCAPOZA

Debido a que las muestras de agua de pozo presentaron datos de remoción consistentes con el volumen de muestra agregada y con la teoría de adsorción, a excepción de las muestras de agua lluvia, las curvas de adsorción se realizaron únicamente para estas muestras.

12.5.1 CURVAS DE ADSORCIÓN PARA COMUNIDAD MELARA.

El análisis de adsorción que se realizó a los datos obtenidos consiste en la determinación de la onda de adsorción, la curva de ruptura y la isoterma de adsorción, para los lechos de perlita expandida y la remoción de cloruros (gráfica 12.27-12.29), perlita expandida y remoción de dureza total (gráficas 12.30-12.32), lecho de carbón a. artesanal+perlita expandida y la remoción de cloruros (gráfica 12.33-12.35), la adsorción de nitratos en perlita expandida (gráficas 12.36-12.38), remoción de nitratos en carbón a. artesanal+perlita e. (gráfica 12.39-12.41) y remoción de sulfatos en carbón a. artesanal+perlita e. (gráfica 12.40-12.42). Los datos para la elaboración de las gráficas se muestran en las tabla 12.9-12.10

TABLA 12.9: DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN PARA EL LECHO DE PERLITA EXPANDIDA

CLORUROS			NITRATOS			DUREZA TOTAL		
CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)
147.5	0	0	1.20	0	0	98.0	0	0
0.712	1.5	2	0.085	5	8	0.950	1.5	8
0.0089	18	8	0.115	10	7	0.0075	18	12
0.070	20	12	0.80	25	15	30	28	20
0.074	28	20	0.90	30	5	50	38	9
0.112	38	9	0.98	35	15	92	56	16
0.135	56	16	1.02	40	6	-----	-----	-----

Fuente: Propia

TABLA 12.10: DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA

CLORUROS			NITRATOS			SULFATOS		
CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)
147.5	0	0	1.20	0	0	32.0	0	0
0.0515	1.5	8	0.015	2	5	0.052	0.30	5
0.0075	18	12	0.085	14	10	0.070	5	10
23.7	28	20	0.40	25	17	19.8	10	15
34.0	38	10	0.80	35	30	20.6	25	30
60.0	56	9	0.90	37	50	22.6	35	50
138.0	65	10	1.1	47	70	31.8	45	70

Fuente: Propia

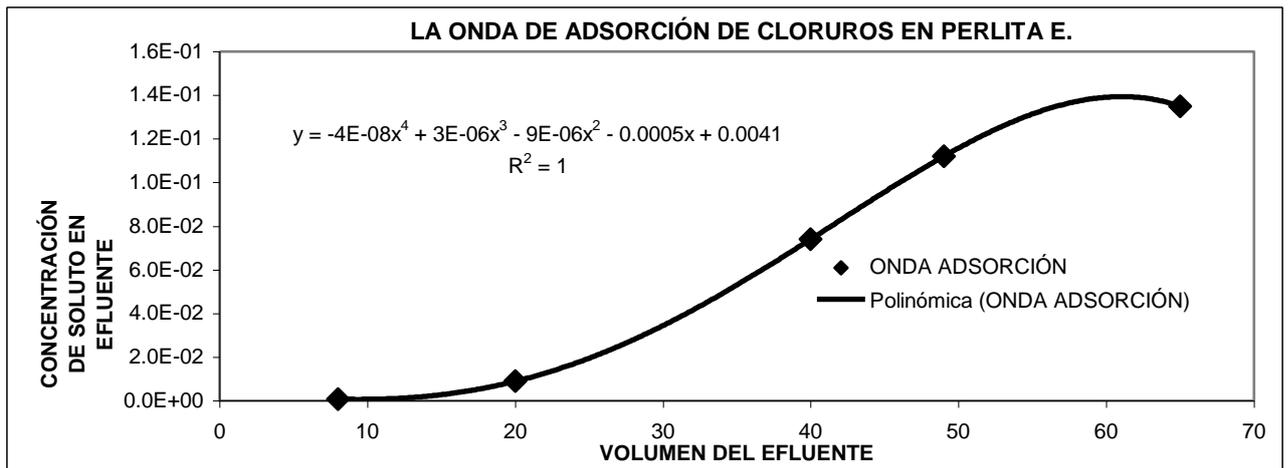
Los datos fueron tratados por medio de las ecuaciones que se muestran en el anexo 9, originando los resultados que se muestran en la tabla 12.11 para el caso de las curvas de adsorción de cloruros en perlita expandida, los resultados se muestran a continuación.

TABLA 12.11: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA E.

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
147.5	0	4.83E-3	1.5	0	147.5
0.712	2	6.00E-2	18	2.06E-4	0.712
0.89	10	0.472E-2	20	3.91E-4	0.89
7.0	22	0.502E-2	28	5.01E-4	7.0
74	42	0.759	38	6.50E-4	74
112	51	0.915	56	7.05E-4	112
135	67	----	---	7.40E-4	135

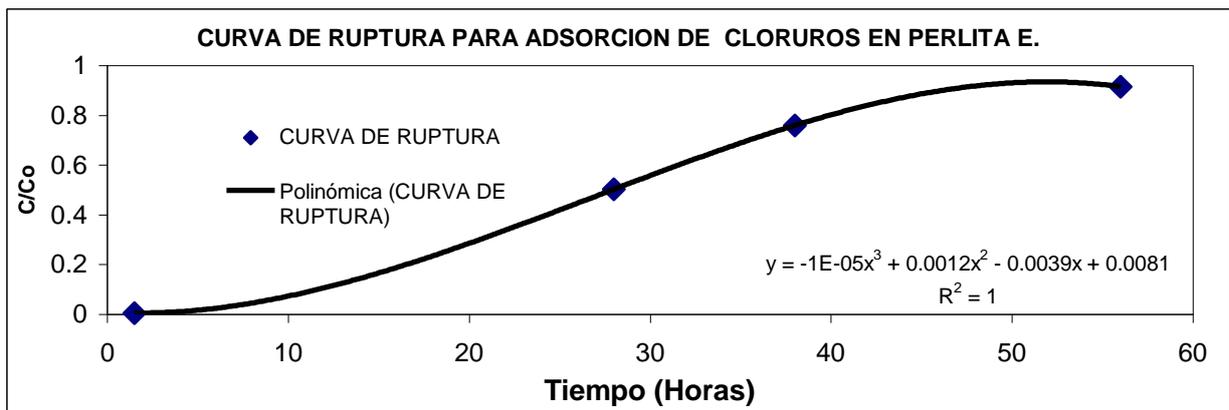
Fuente: Propia

La gráfica 12.27 muestra que la concentración en el efluente aumenta a medida que aumentaba la cantidad de agua tratada, por lo cual de ella puede extraerse el punto de quiebre y el de saturación en función del volumen que corresponde a la columna de perlita expandida.



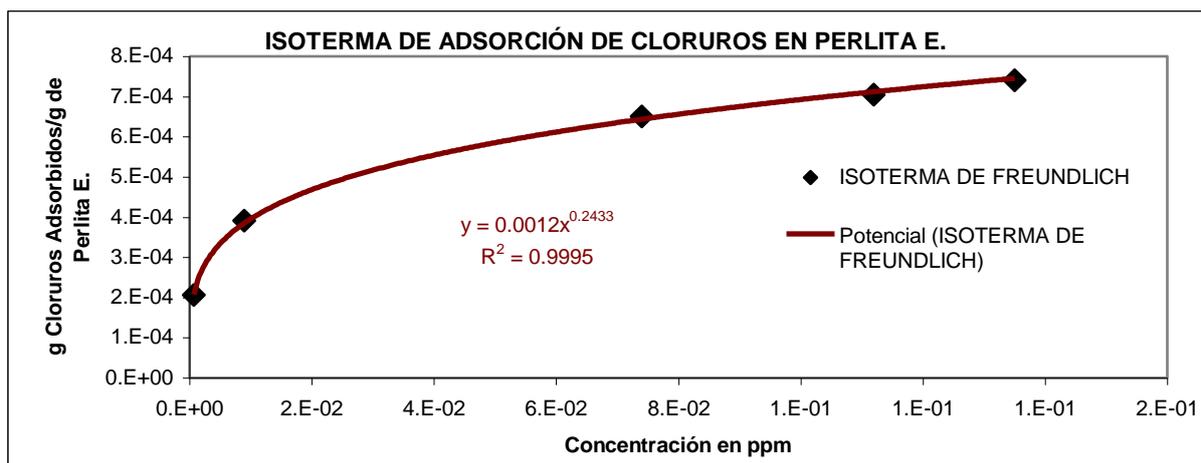
GRÁFICA 12.27: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.28 muestra la relación de la concentración en el efluente y la de entrada a la columna, y como esta se relaciona con el tiempo de funcionamiento del lecho, hasta llegar a casi uno (1), lo cual se interpreta como que la concentración de salida es igual a la de entrada y por lo tanto ya no hay remoción.



GRÁFICA 12.28: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.29 muestra que la adsorción de cloruros en perlita expandida fue muy favorable y relaciona la cantidad en gramos de contaminante que ha sido adsorbido por el sólido en este caso perlita expandida y la cantidad que sale en el efluente de la columna, el cual ya ha sido tratado, de esta manera se observa que a mayor concentración de salida del contaminante existe mayor cantidad de cloruros que son retenidos por los poros del material



GRÁFICA 12.29: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

Para la remoción de dureza total en perlita expandida los datos se muestran en la tabla 12.12

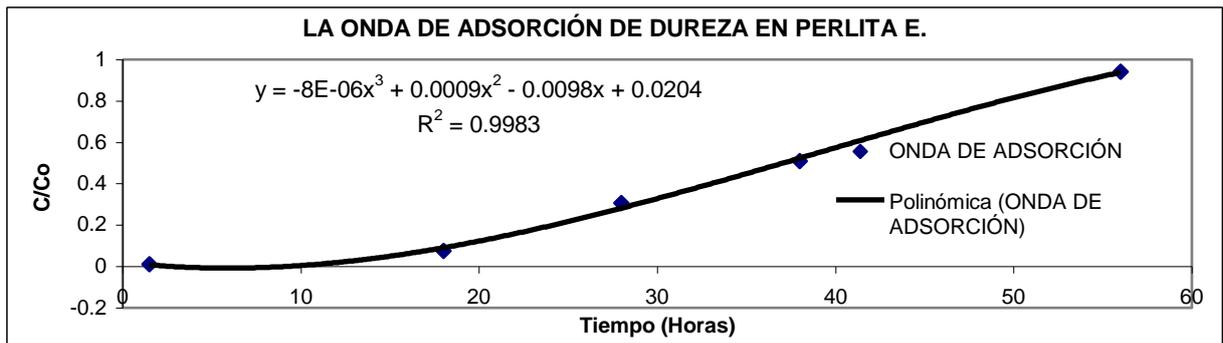
TABLA 12.12: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA E.

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
98.0	0	0	0	0	98.0
0.095	8	0.0097	1.5	1.37E-4	0.095
0.75	20	0.076	18	3.28E-4	0.75
3	40	0.306	28	5.68E-4	3
5	49	0.510	38	7.16E-4	5
9.2	65	0.940	56	7.32E-4	9.2

Fuente: Propia

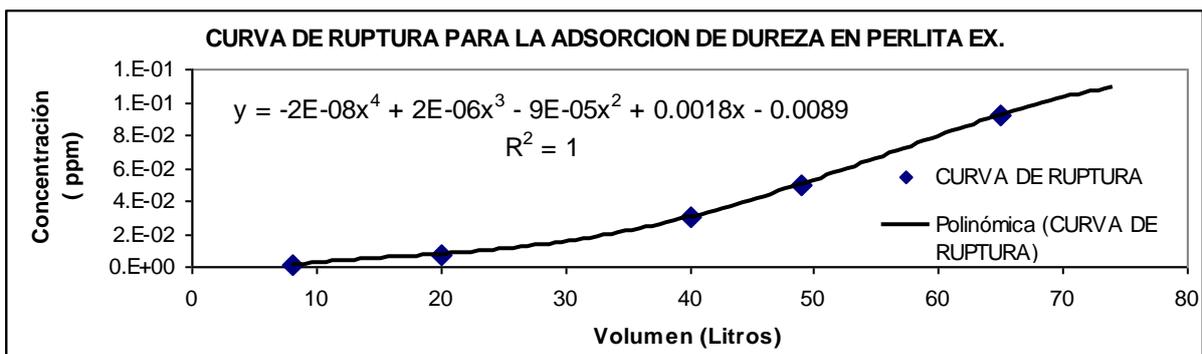
Las gráficas que resultan de relacionar cada uno de las cantidades obtenidas se muestran a continuación.

La gráfica 12.30 muestra la relación que existe entre la concentración de la dureza total a la entrada del lecho adsorbente y a la salida de este luego de haber sido tratada la muestra de agua, se observa que a medida que dicho valor se aproxima a uno (1), es decir a igualarse los valores de entrada con los de la salida para el contaminante en estudio, aumenta el tiempo de utilización del lecho adsorbente, lo cual puede interpretarse en que este se está saturando.



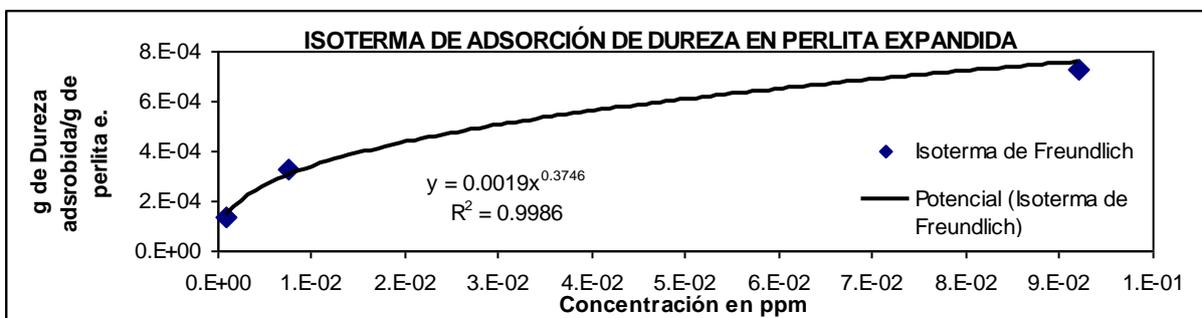
GRÁFICA 12.30: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.31 muestra que la concentración de salida de la dureza en la muestra de agua tratada en el lecho de perlita expandida, aumentaba conforme aumentaba el volumen de agua que pasó por la columna, de esta gráfica se puede obtener el punto de quiebre y de saturación para el sistema.



GRÁFICA 12.31: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.32 muestra que la adsorción de dureza en perlita fue muy favorable, y que la cantidad de contaminante retenido por el material adsorbente aumentaba conforme el valor de la concentración de salida del lecho fue mayor.



GRÁFICA 12.32: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE DUREZA EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

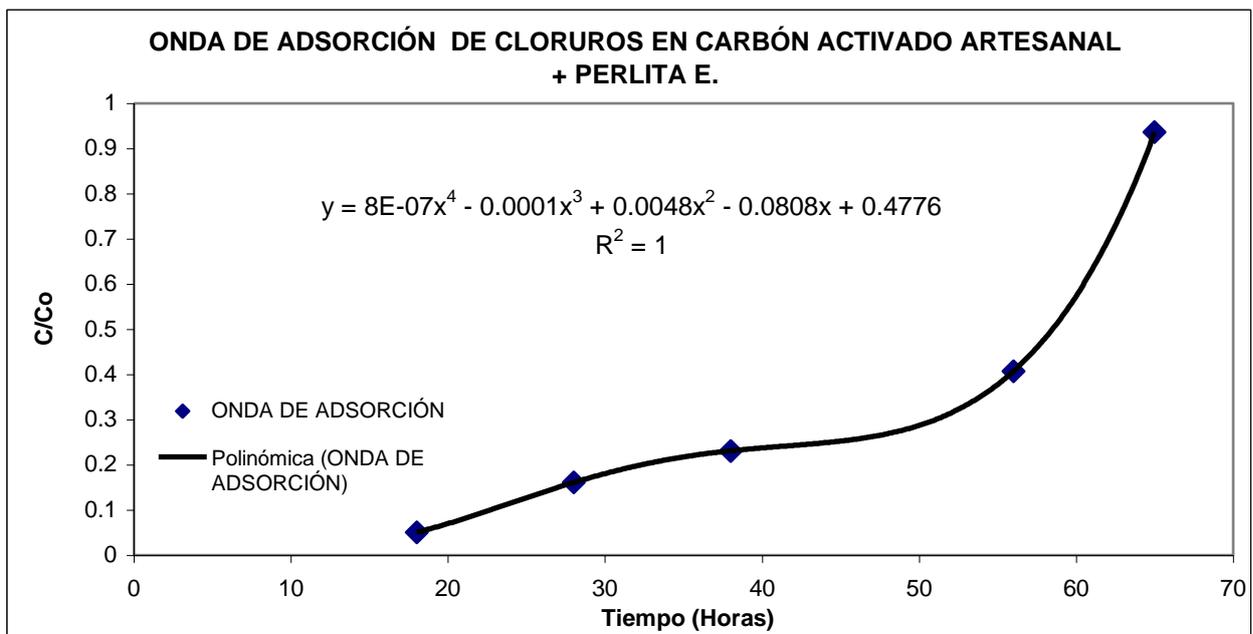
Para la adsorción de cloruros en carbón activado artesanal + perlita expandida los datos se muestran en la tabla 12.13

TABLA 12.13: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
147.5	0	0.003	1.5	0	147.5
0.051	8	0.0508	18	1.18E-4	0.051
0.075	20	0.161	28	2.86E-4	0.075
23.7	40	0.231	38	5.336E-4	23.7
34.0	50	0.407	56	6.47E-4	34.0
60.0	59	0.936	65	7.26E-3	60.0
138.0	69	----	----	7.335E-3	138.0

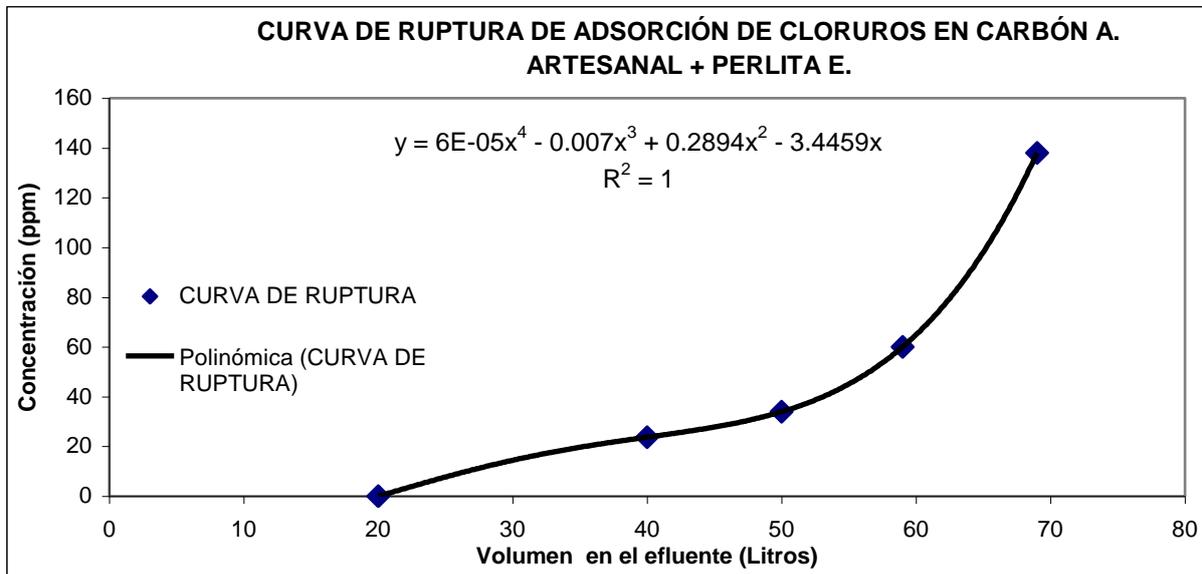
Fuente: Propia

La gráfica 12.33 muestra que la relación de la concentración de cloruros a la salida de la columna de adsorción relacionada con la concentración de cloruros a la entrada, aumentaba a medida que el tiempo de uso del lecho de carbón a. artesanal + perlita ex. transcurrió, lo cual indica que este se estaba agotando.



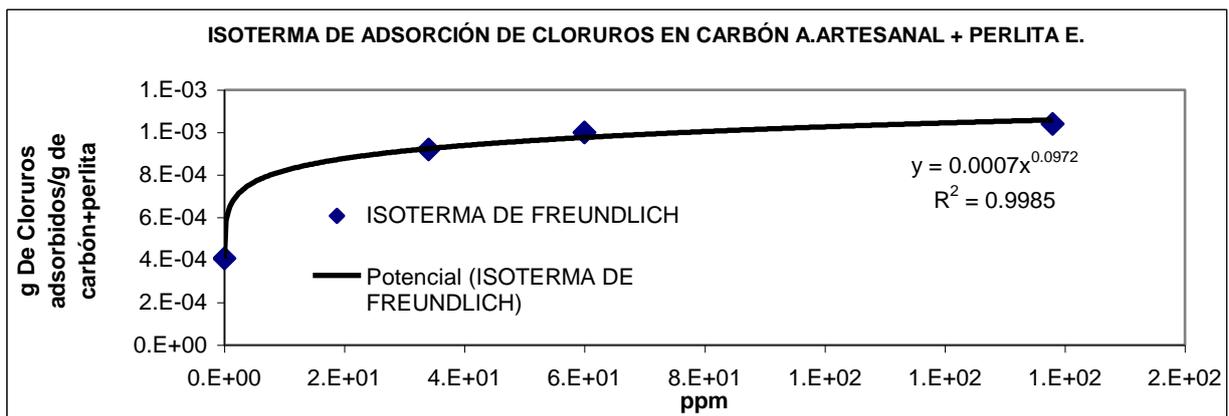
GRÁFICA 12.33: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.34 muestra que la concentración de cloruros a la salida de la columna aumentó conforme se hacía pasar mayor cantidad de agua a través de esta, lo cual sugiere un agotamiento que se expresa en función del volumen de agua que ha pasado por el lecho.



GRÁFICA 12.34: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.35 refleja que la adsorción de cloruros en el sólido poroso antes mencionado fue muy favorable y que la cantidad de cloruros (gramos) retenidos en los poros del material adsorbente aumentaba a medida que se incrementaba la concentración de los cloruros en las muestras de agua a la salida de la columna de adsorción de carbón a. artesanal + perlita e.



GRÁFICA 12.35: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

En la tabla 12.14 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de nitratos en el lecho de perlita expandida.

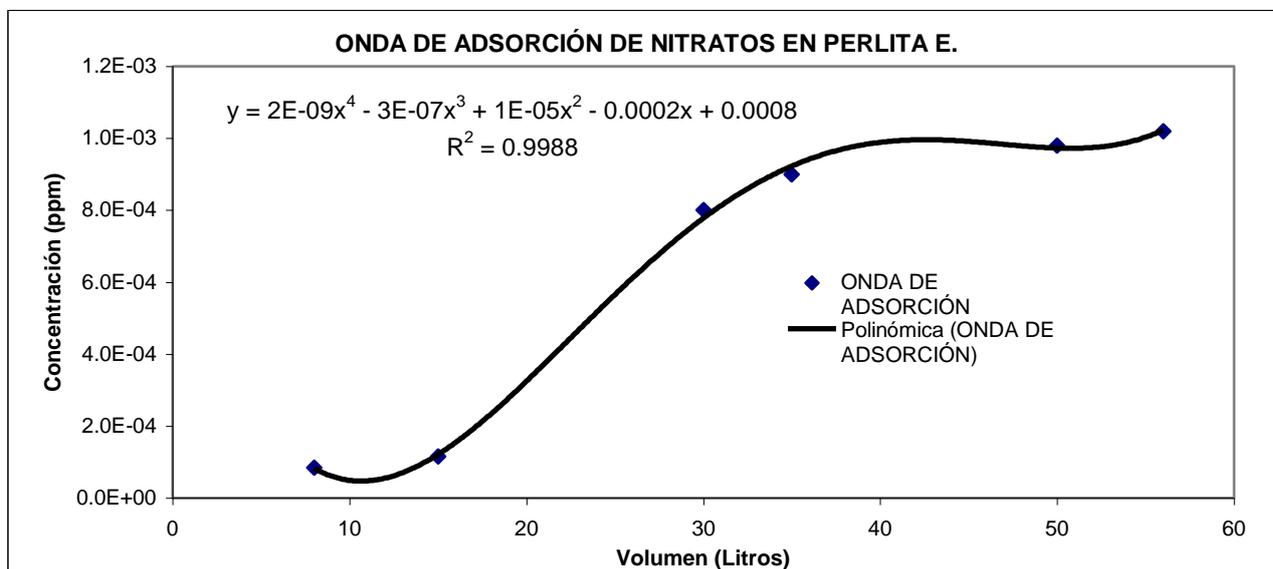
TABLA 12.14: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA EXPANDIDA

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
0.085	8	0.0708	5	1.57E-5	0.085
0.115	15	0.0958	10	1.2E-4	0.115
0.80	30	0.667	25	8E-4	0.80
0.90	35	0.750	30	9E-4	0.90
0.98	50	0.817	35	9.8E-4	0.98
1.02	56	0.850	40	1E-3	1.02

Fuente: Propia

Los datos de la tabla 12.14 se graficaron y se muestran a continuación.

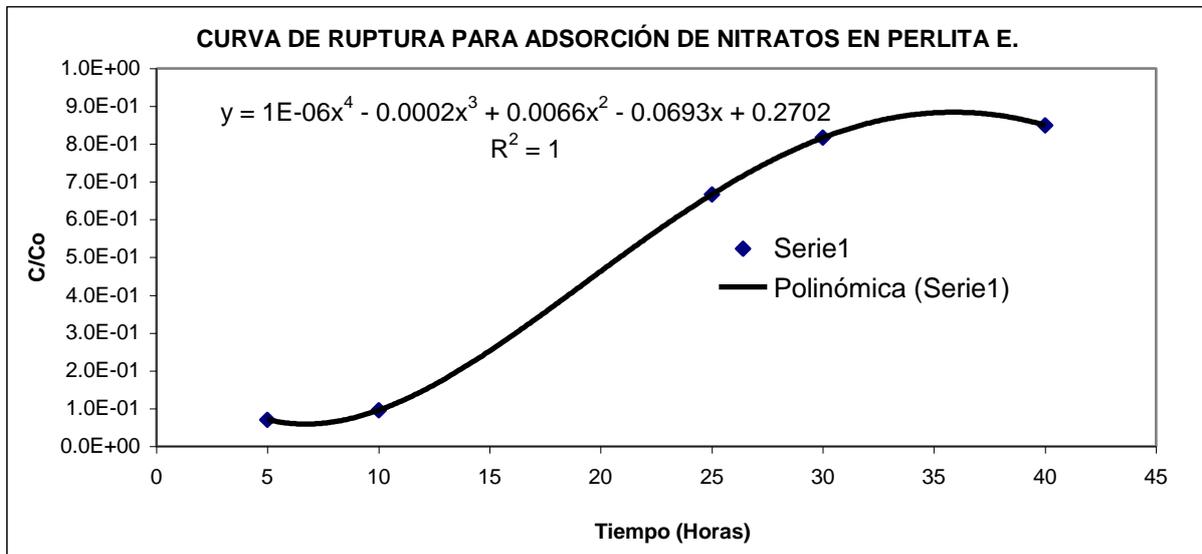
La gráfica 12.36 muestra que la concentración de nitratos a la salida del lecho de perlita expandida aumentó a medida que aumentaba el volumen de agua que se hizo pasar por dicha columna sugiriendo esto que la cama de adsorbente se estaba agotando, lo cual se expresa en función del volumen de muestra que pasó a través del sólido.



GRÁFICA 12.36: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E. (Fuente: Propia)

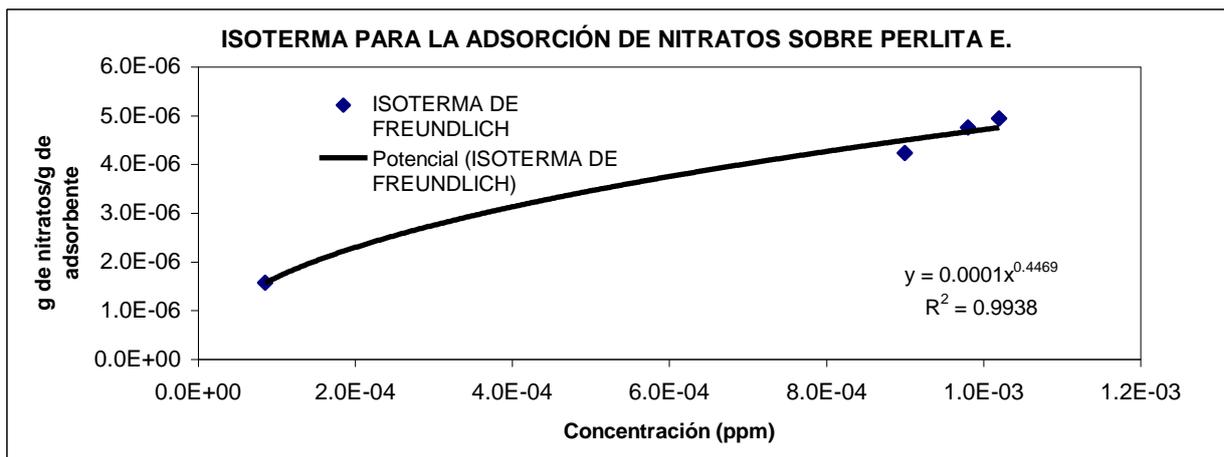
La gráfica 12.37 muestra que la relación de concentración de nitratos a la salida del lecho adsorbente en relación a la concentración de nitratos a la entrada se aproximaba a uno (1),

es decir a que se igualen las concentraciones a medida que transcurrió el tiempo de utilización de la columna de perlita expandida.



GRÁFICA 12.37: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E. (Fuente: Propia)

En la gráfica 12.38 se observa que la adsorción de nitratos en perlita expandida fue muy favorable y que los gramos de nitratos retenidos en los poros del material en relación a los gramos totales de adsorbente del lecho, aumentaban a medida que se incrementaba la concentración en la salida de la columna de la sustancia química contaminante antes mencionada.



GRÁFICA 12.38: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN PERLITA E. (Fuente: Propia)

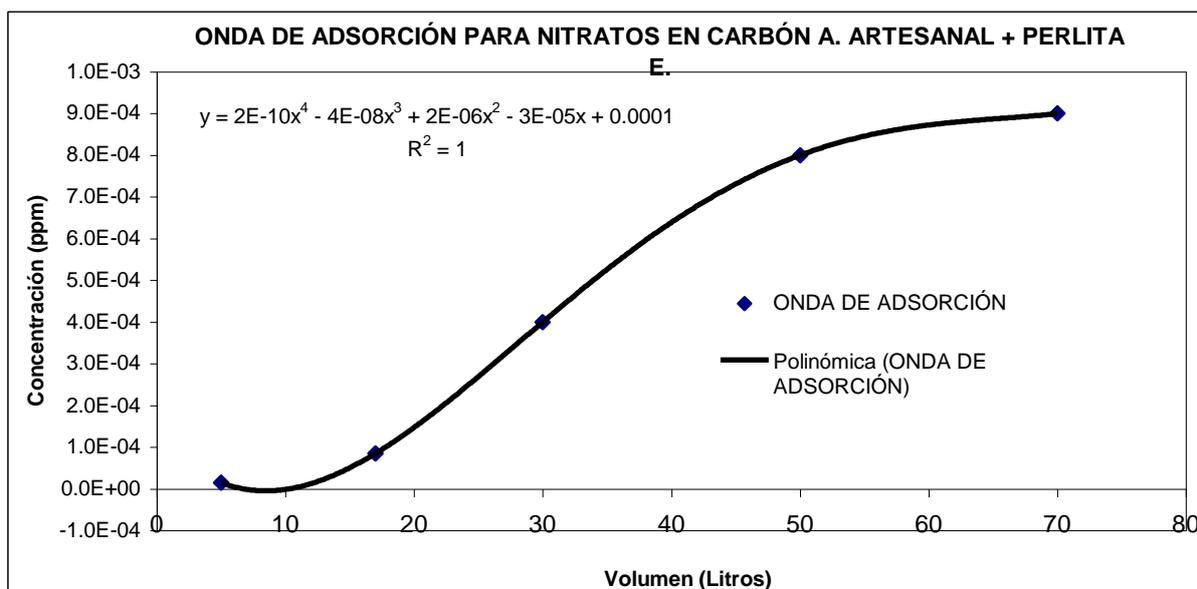
En la tabla 12.15 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de nitratos en el lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida.

TABLA 12.15: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
1.2	0	0.0125	2	0	1.2
0.015	5	0.0708	14	8.43E-7	0.015
0.085	10	0.33	25	2.43E-6	0.085
0.4	17	0.667	35	4.36E-6	0.4
0.8	30	0.75	37	6.07E-6	0.8
0.95	50	0.917	47	8.2E-6	0.95
1.1	70	----	----	9.2E-6	1.1

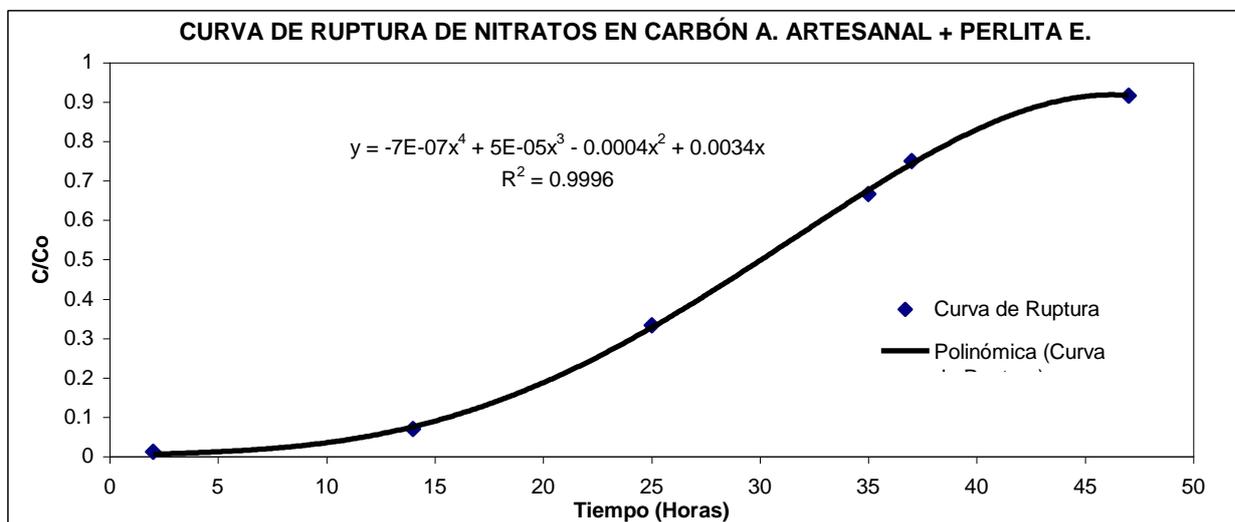
Fuente: Propia

La gráfica 12.39 muestra que la concentración a la salida del lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida aumentaba conforme se aumentó el volumen de muestras de agua que se hizo pasar por el lecho, sugiriendo esto que la columna de adsorción del material antes mencionado se estaba agotando.



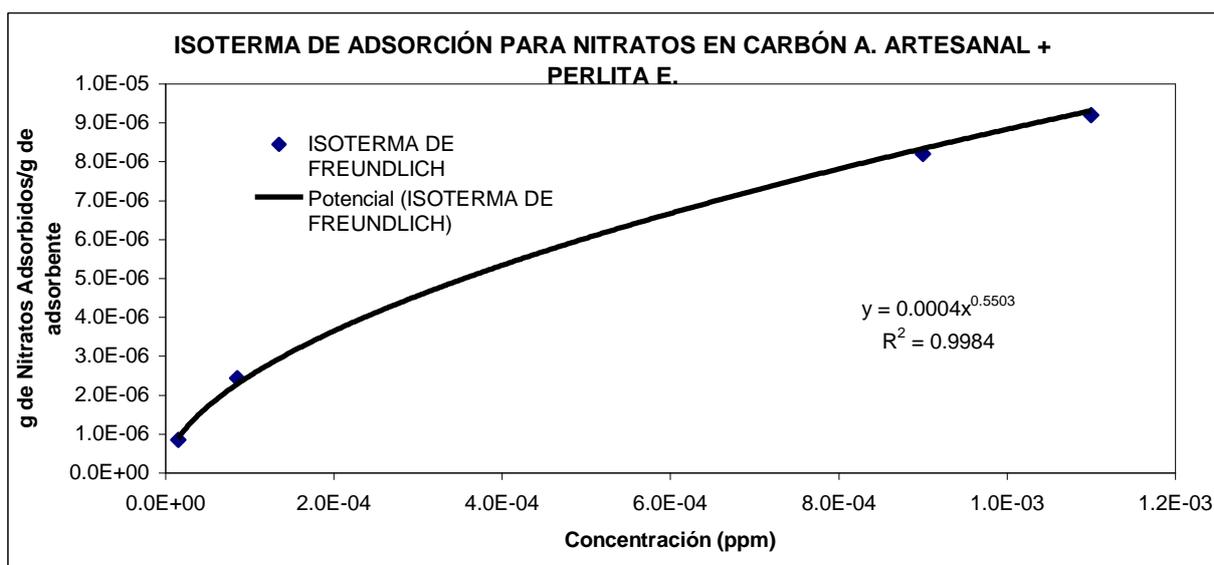
GRÁFICA 12.39: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.40 muestra que la relación de la concentración de salida de los nitratos del lecho compuesto por carbón a. artesanal + perlita expandida en relación a la concentración de entrada del mismo contaminante, aumentaba a medida que transcurrió el tiempo de utilización del lecho antes mencionado lo cual sugirió que este se había agotado.



GRÁFICA 12.40: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.41 muestra que la adsorción de nitratos en carbón a. artesanal + perlita expandida fue muy favorable y que la masa de nitratos que se retuvo en el interior de los poros de los materiales adsorbentes se incrementó conforme fue mayor la concentración de salida del contaminante antes mencionado.



GRÁFICA 12.41: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE NITRATOS LECHO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA (Fuente: Propia)

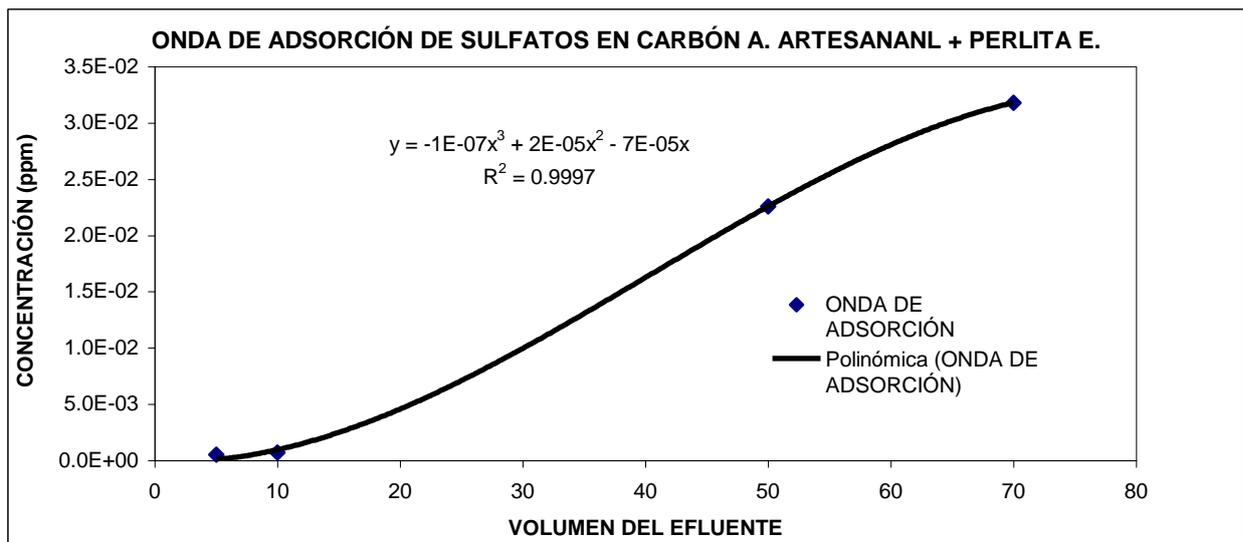
En la tabla 12.16 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de sulfatos en el lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida.

TABLA 12.16: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
1.20	0	0.0125	2	0	1.20
0.015	5	0.0708	14	8.43E-7	0.015
0.085	10	0.33	25	2.43E-6	0.085
0.40	17	0.667	35	4.36E-6	0.40
0.80	30	0.75	37	6.07E-6	0.80
0.90	50	0.917	47	8.2E-6	0.90
1.1	70	----	----	9.2E-6	1.1

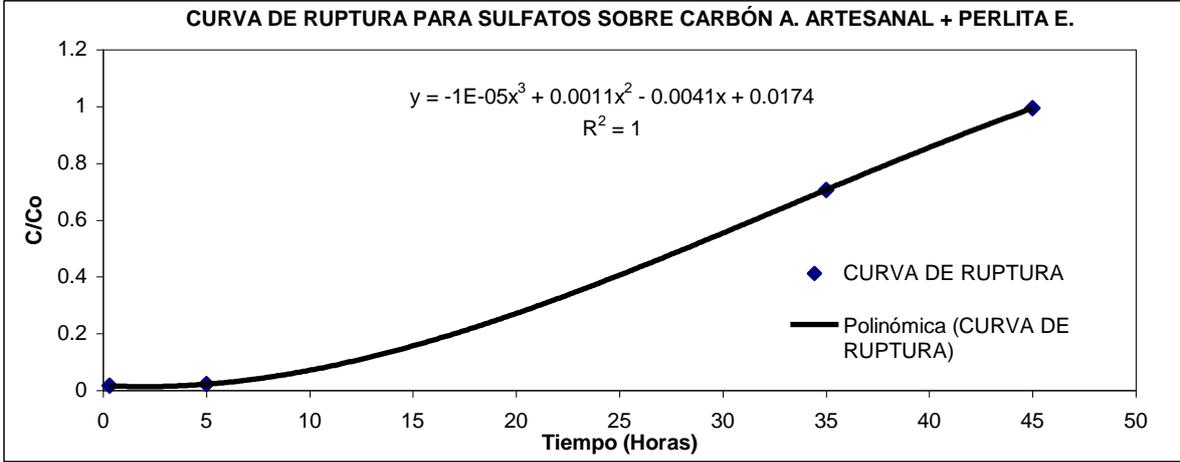
Fuente: Propia

La gráfica 12.42 muestra que la concentración de sulfatos a la salida del lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida se incrementó conforme aumentó el volumen de muestras de agua que se hizo pasar a través de la columna lo que sugiere que el lecho se agotó.



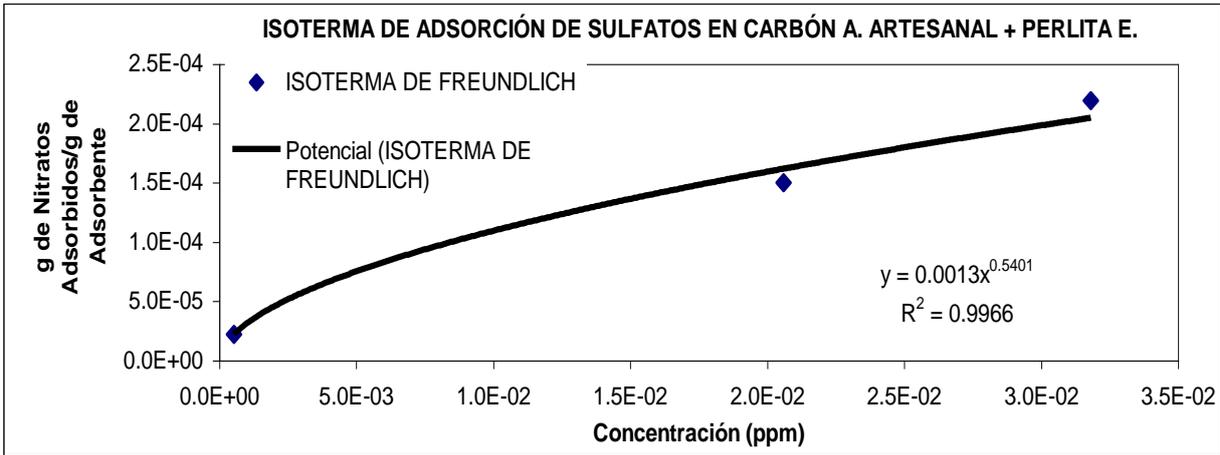
GRÁFICA 12.42: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.43 muestra que la relación de la concentración de salida de sulfatos del lecho de carbón a. artesanal + perlita e. en relación a la concentración de entrada del mismo contaminante, se incrementó conforme aumentó el tiempo en que se utilizó el equipo de adsorción, lo cual sugiere el agotamiento del sistema en función del tiempo de uso.



GRÁFICA 12.43: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E (Fuente: Propia)

La gráfica 12.44 muestra que la adsorción de sulfatos en carbón a. artesanal + perlita expandida fue muy favorable y que la masa de sulfatos que se retuvo en el interior de los poros del adsorbente en relación a la masa total de este material, se incrementó conforme aumentaba la concentración a la salida del contaminante antes mencionado.



GRÁFICA 12.44: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOSLECHO DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL + PERLITA EXPANDID (Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones de los gráficos se muestran en las tabla 12.17-12.18 según sea el adsorbente y el contaminante removido. Los datos fueron calculados a partir de la ecuación mostrada en el anexo 9

TALBA 12.17: RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE PERLITA EXPANDIDA EN LA COMUNIDAD MELARA

RELACIONES DE ADSORCIÓN	LECHO DE PERLITA EXPANDIDA		
	CLORUROS	NITRATOS	DUREZA
Punto de saturación	60.5 H	33.70	60.49 H.
Punto de quiebre	15.10 H	7.5	15.10 H.
Volumen de saturación	62.5 L	35.50	62.50 L.
Volumen de quiebre	18.92 L	8.75	8.92 L.
Relación equilibrio en pto. De saturación	7.75E-4	4.54E-6	7.75e-4
Relación de equilibrio en pto. De quiebre	2.59E-4	1.24E-6	2.59e-4 g.

Fuente: Propia

TALBA 12.18: RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA EN LA COMUNIDAD MELARA

RELACIONES DE ADSORCIÓN	LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.		
	CLORUROS	NITRATOS	SULFATOS
Punto de saturación	63.8 H	38.50	48.22 H.
Punto de quiebre	15.20 H	8.50	5.62 H.
Volumen de saturación	68.72 L	65.88	60.50 L.
Volumen de quiebre	19.74 L	12.80	7.35 L.
Relación equilibrio en pto. De saturación	5.78E-4	9.03E-6	1.97 e-4
Relación de equilibrio en pto. De quiebre	4.33E-4	1.904E-6	4.02 E-4 g.

Fuente: Propia

12.5.2 CURVAS DE ADSORCIÓN PARA COMUNIDAD BOCAPOZA

Al igual que para la comunidad Melara las gráficas se realizaron para los lechos que mostraron un comportamiento consistente con el fenómeno de adsorción. La tabla 12.19 muestra los datos para la elaboración de las curvas de remoción de cloruros en perlita e. (gráfica 12.45-12.47), cloruros en carbón a. artesanal + perlita expandida (gráficas 12.48-12.50) y sulfatos en perlita expandida (gráfica 12.51-12.53), para luego presentarse una tabla resumen de las variables determinadas a través de las gráficas (tabla 12.23)

TABLA 12.19.: DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA Y PERLITA E.

PERLITA EXPANDIDA						CARBÓN A. + PERLITA E.		
CLORUROS			SULFATOS			CLORUROS		
CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)	CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)
18.6	0	0	24	0	0	186	0	0
0.042	2	1.5	0.096	2	1.5	0.062	2	1.5
0.092	8	8	0.098	8	8.5	0.88	8	8.5
75	26	13	1.74	28	10	0.29	26	10
95	33	17	1.82	38	20	0.95	38	20
17.5	50	20	1.90	45	20	1.75	45	20
18.2	60	20	2.35	55	20	1.82	55	20

Fuente: Propia

Para la elaboración de las gráficas de adsorción correspondientes a cada contaminante y lecho adsorbente, se utilizaron las ecuaciones y el procedimiento del anexo 9, con lo datos mostrados en la tabla 12.19 En la tabla 12.20 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de cloruros en el lecho de perlita expandida.

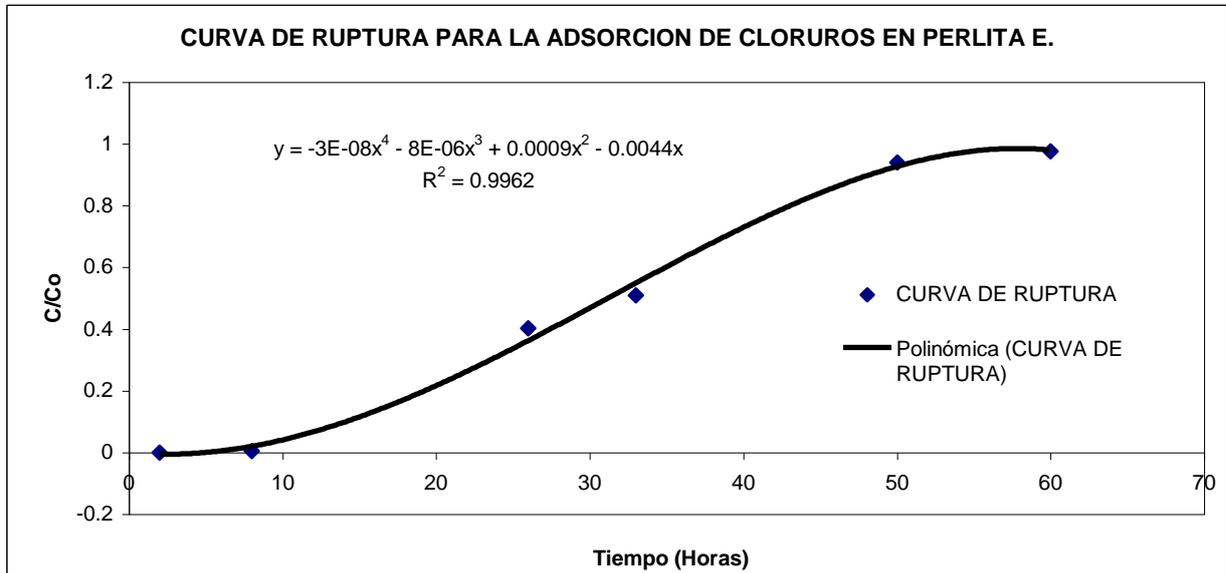
TABLA 12.20: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA E.

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
1.86	0	0.0002	2	0	1.86
0.0415	1.5	0.0049	8	4.93E-5	0.0415
0.092	10	0.402	26	0.00033	0.092
0.075	23	0.5099	33	0.00058	0.075
0.095	30	0.9393	50	0.00086	0.095
1.75	50	0.9762	60	0.00090	1.75
1.82	70	----	----	0.00091	1.82

Fuente: Propia

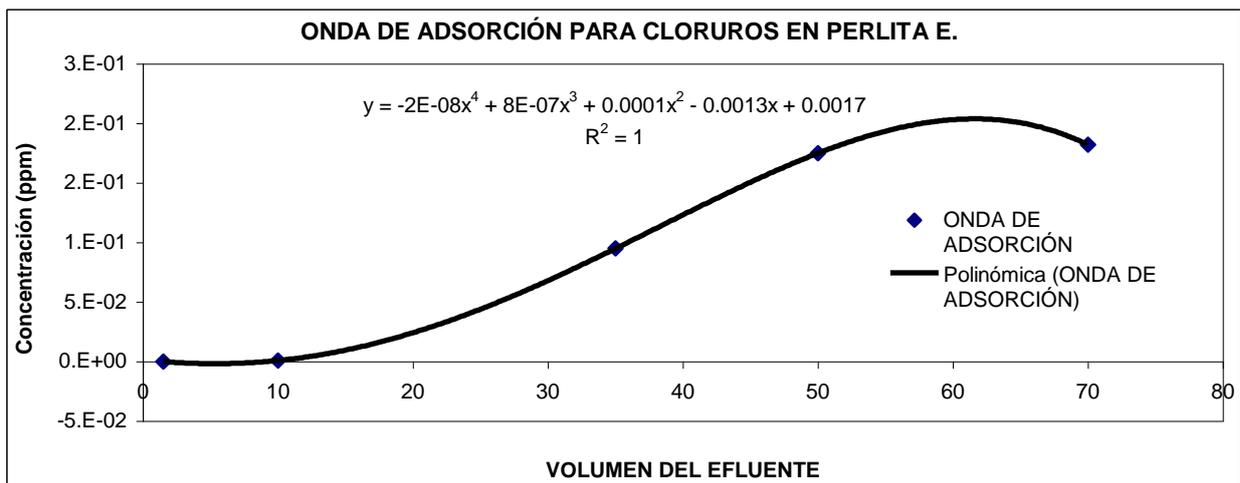
Las gráficas se muestran a continuación.

La gráfica 12.45 muestra la relación de la concentración de cloruros a la entrada y a la salida del lecho adsorbente de perlita expandida y sugiere que este valor se acercaba a la unidad conforme transcurría el tiempo de uso del equipo.



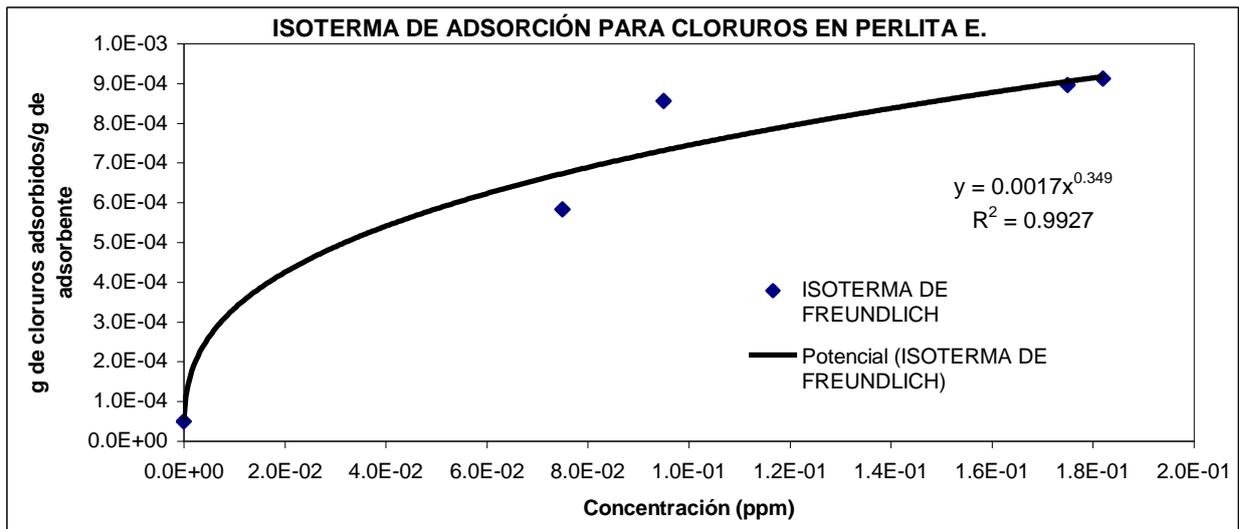
GRÁFICA 12.45: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.46 muestra que la concentración de cloruros a la salida del lecho de perlita expandida aumentaba conforme se incrementaba el volumen de muestras de agua que pasaba por el equipo, lo cual estaba sugiriendo que el lecho se estaba agotando.



GRÁFICA 12.46: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.47 muestra que la adsorción de cloruros en perlita expandida fue muy favorable, y que la masa adsorbida en los poros del lecho se incrementó conforme fue mayor la concentración de dicha sustancia a la salida del equipo.



GRÁFICA 12.47: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

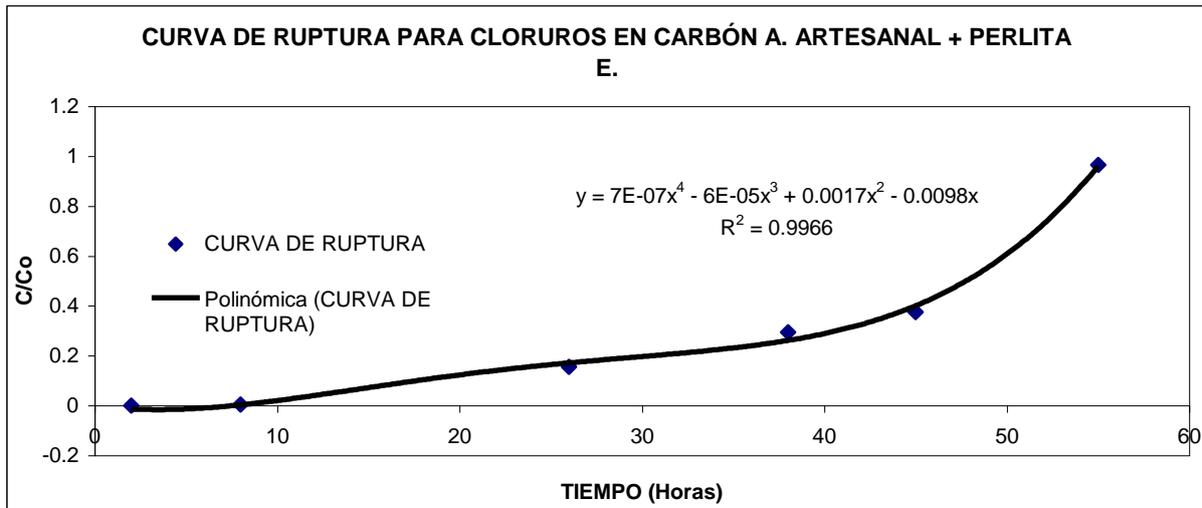
En la tabla 12.21 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de cloruros en el lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida.

TABLA 12.21: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA E.

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
1.86	0	0.0002	2	0	1.86
0.0415	1.5	0.0049	8	4.93E-5	0.0415
0.092	10	0.402	26	0.00033	0.092
0.075	23	0.5099	33	0.00058	0.075
0.095	30	0.9393	50	0.00086	0.095
1.75	50	0.9762	60	0.00090	1.75
1.82	70	----	----	0.00091	1.82

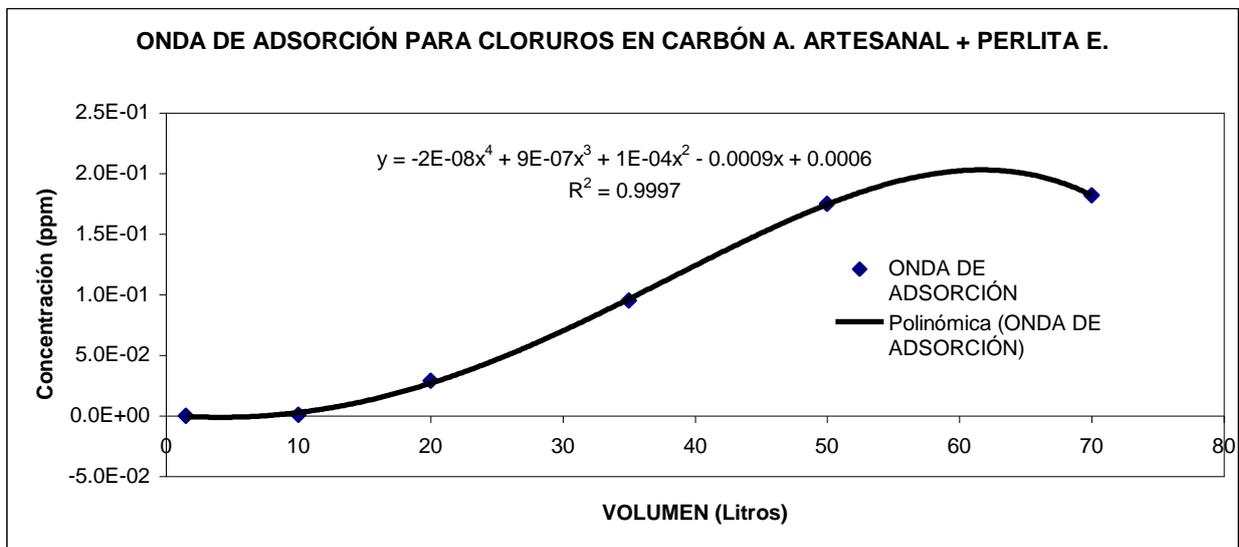
Fuente: Propia

La gráfica 12.48 muestra que la relación de la concentración de cloruros a la salida del lecho de carbón a. artesanal + perlita expandida en relación a la concentración de entrada del mismo contaminante se incrementó conforme aumentó el tiempo de uso del equipo de adsorción.



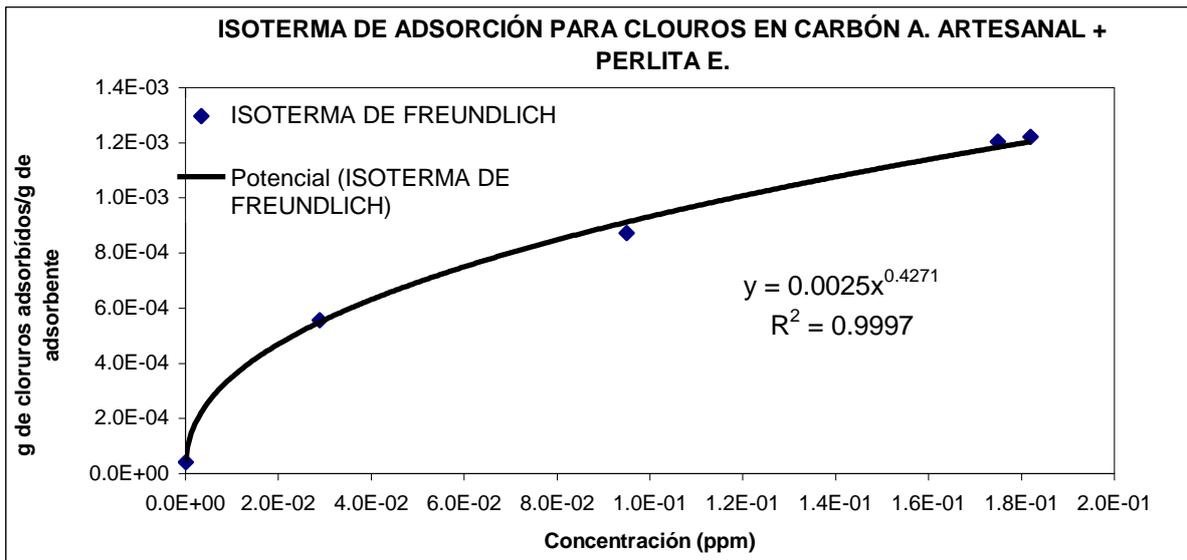
GRÁFICA 12.48: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.49 muestra que la concentración a la salida del lecho aumentó conforme fue mayor el volumen que pasó por la columna.



GRÁFICA 12.49: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.50 muestra que la adsorción de cloruros en el lecho utilizado fue muy favorable y que la cantidad de masa de cloruros en el interior de los poros del adsorbente fue incrementando en relación al aumento de concentración en el efluente del equipo.



GRÁFICA 12.50: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE CLORUROS EN CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

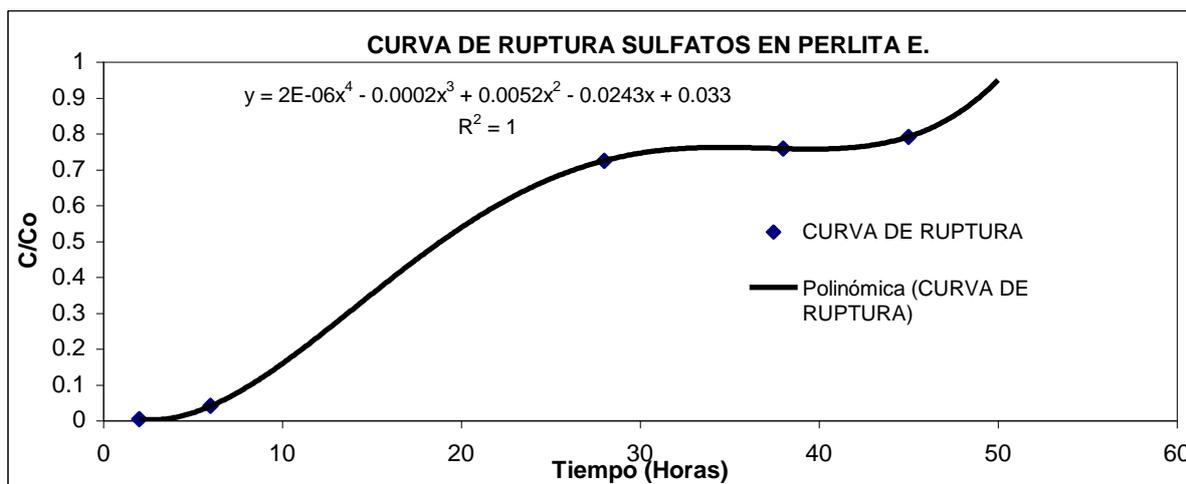
En la tabla 12.22 se muestran los datos que conforman las gráfica de onda de adsorción, curva de ruptura e isoterma de adsorción para la remoción de sulfatos en el lecho de perlita expandida.

TABLA 12.22: DATOS DE ONDA DE ADSORCIÓN, CURVA DE RUPTURA E ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA E.

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
1.86	0	0.0002	2	0	1.86
0.0415	1.5	0.0049	8	4.93E-5	0.0415
0.092	10	0.402	26	0.00033	0.092
0.075	23	0.5099	33	0.00058	0.075
0.095	30	0.9393	50	0.00086	0.095
1.75	50	0.9762	60	0.00090	1.75
1.82	70	----	----	0.00091	1.82

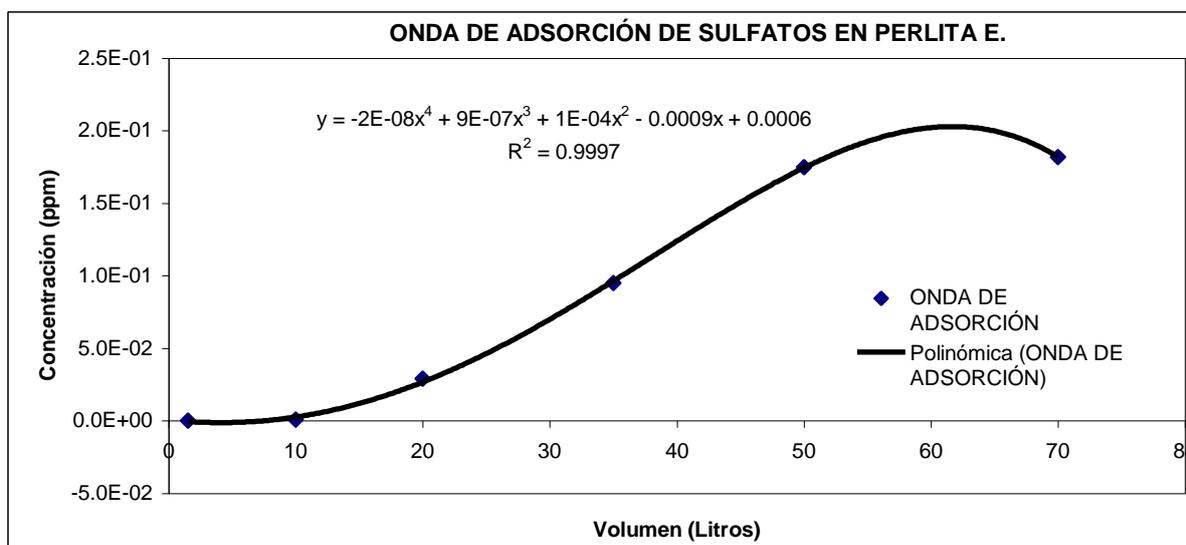
Fuente: Propia

La gráfica 12.51 muestra que la relación de la concentración de sulfatos a la salida del lecho de perlita expandida, relacionado con la concentración del mismo contaminante a la entrada del equipo se aproximó a la unidad a medida que transcurrió el tiempo de uso, lo que manifiesto que el material adsorbente ya no era capaz de remover contaminantes.



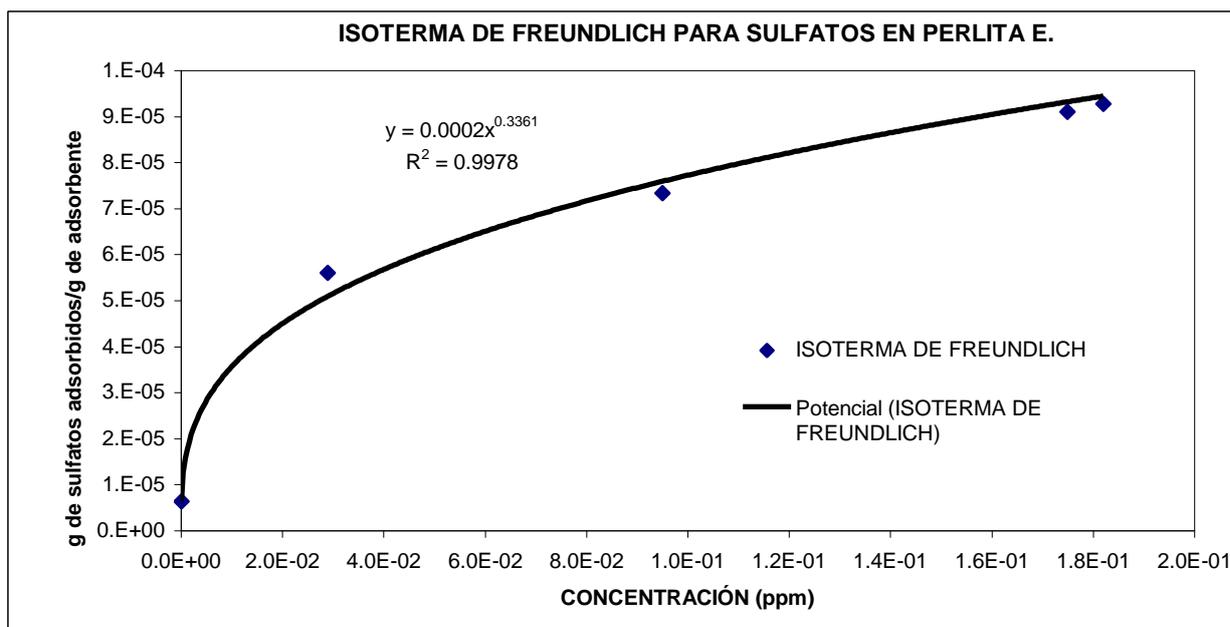
GRÁFICA 12.51: CURVA DE RUPTURA PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA (Fuente: Propia)

La gráfica 12.52 pone de manifiesto que a medida que se incrementó el volumen de muestras de agua que se hicieron pasar por le lecho, la concentración de sulfatos aumentaba a la salida del equipo, lo que puso de manifiesto que el lecho se agotó.



GRÁFICA 12.52: ONDA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

La gráfica 12.53 muestra que la adsorción de sulfatos en el lecho de perlita expandida fue muy favorable y que la masa de sulfatos retenidos en los poros del material aumentaba conforme se incrementaba la concentración del contaminante antes mencionado a la salida del equipo.



GRÁFICA 12.53: ISOTERMA DE ADSORCIÓN PARA LA REMOCIÓN DE SULFATOS EN PERLITA EXPANDIDA. (Fuente: Propia)

Los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones de los gráficos se muestran en la tabla 12.23 según sea el adsorbente y el contaminante removido. Los datos fueron calculados a partir de la ecuación mostrada en el anexo 9

TALBA 12.23: RESULTADOS DE LAS GRÁFICAS DE ADSORCIÓN OBTENIDOS PARA EL LECHO DE CARBÓN A. ARTESANAL + PERLITA EXPANDIDA EN LA COMUNIDAD BOCAPOZA

RELACIONES DE ADSORCIÓN	LECHO PERLITA E.		L. CARBÓN A. + PERLITA E.
	CLORUROS	SULFATOS	CLORUROS
Punto de saturación	43.50 H	49.38	49.80H.
Punto de quiebre	4.72 H	8.33	6.25 H.
Volumen de saturación	42.80 L	55.67	35.66 L.
Volumen de quiebre	15.10 L	5.95	4.88L.
Relación equilibrio en pto. De saturación	9.28E-4	5.61E-5	0.0012
Relación de equilibrio en pto. De quiebre	3.33E-4	2.08E-5	3.38E-4

Fuente: Propia

CAPÍTULO XIII

13.0 REGENERACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES

Una vez que el carbón activado ha sido saturado con los componentes que debe adsorber en una aplicación, puede ser regenerado mediante una serie de procesos, para así recuperar su estado original. Las ventajas de la regeneración son, principalmente, el que se reduce el costo para el usuario y que se reduce considerablemente el problema de la eliminación y/o almacenamiento del material gastado.

13.1 REGENERACIÓN DE ADSORBENTES A NIVEL ARTESANAL

Para el proceso de regeneración de los materiales adsorbentes: Perlita y Carbón Activado Artesanal, se procedió a la aplicación de tecnologías apropiadas; para el caso de la presente investigación se decidió utilizar regeneración térmica para ambos adsorbentes.

13.1.1 REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL

El carbón activado artesanal se sometió nuevamente a un proceso de re-activación que para el caso se tomó como una regeneración. El procedimiento seguido fue el mismo que para realizar la activación del carbón elaborado artesanalmente.



FIG. 13.1: PROCESO DE REGENERACIÓN DEL CARBÓN ARTESANAL.

13.1.2 REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA

La perlita se sometió nuevamente al proceso de calcinación en horno para fabricación de ladrillo artesanal. El procedimiento seguido fue exactamente el mismo que para la primera calcinación de la perlita.



FIGURA 13.2: REGENERACIÓN DE PERLITA. (Fuente: Propia)

Para este caso, sólo se realizó una prueba de regeneración de los adsorbentes, pero se considera que pueden hacerse varias regeneraciones; sin embargo los resultados de los análisis de laboratorio son los que determinarán en cualquier caso el número de regeneraciones que se puedan realizar ya que un aumento en la concentración de contaminantes en el agua a tratar, es el indicador de que la regeneración ya no es efectiva y el adsorbente deberá desecharse y disponerlo de forma adecuada.

13.2 DISPOSICIÓN FINAL DE LOS ADSORBENTES

La utilización del relleno sanitario es la alternativa más viable para la disposición final de los adsorbentes en el caso de finalizar su capacidad de regeneración debido a que es la opción menos contaminante para el medio ambiente y económicamente más favorable. A través de una gestión entre la Alcaldía Municipal de La Libertad y la Alcaldía Municipal de Nejapa debe coordinarse el traslado y recepción de los adsorbentes agotados para su disposición final en el Relleno Sanitario de Nejapa, los cuales pueden recolectarse a nivel comunitario por medio de la organización comunal existente. (Ver fig. 13.3).

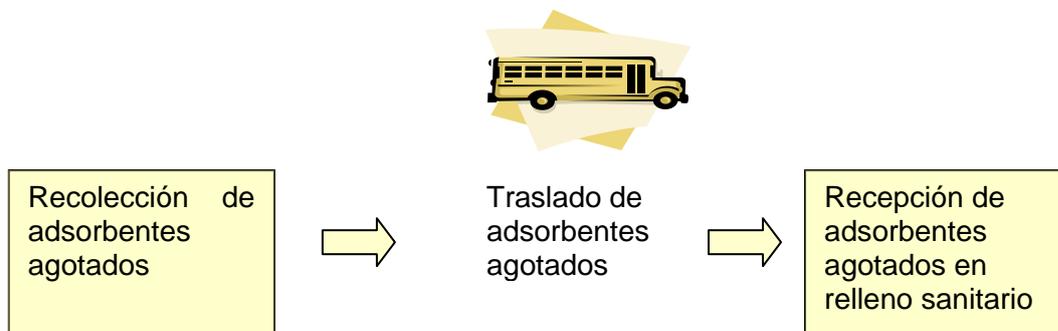


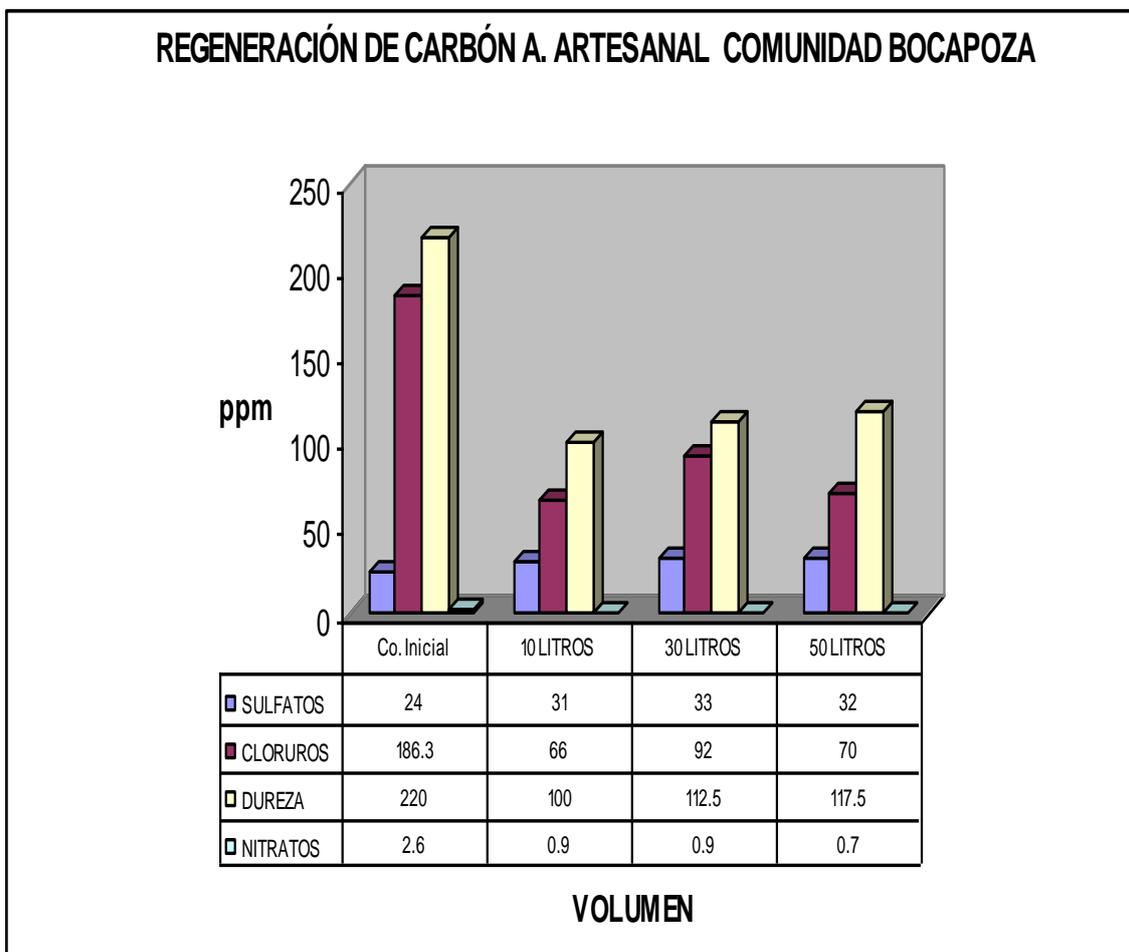
FIG. 13.3: PROCESO DE DISPOSICIÓN FINAL DE ADSORBENTES AGOTADOS.

(Fuente: Propia)

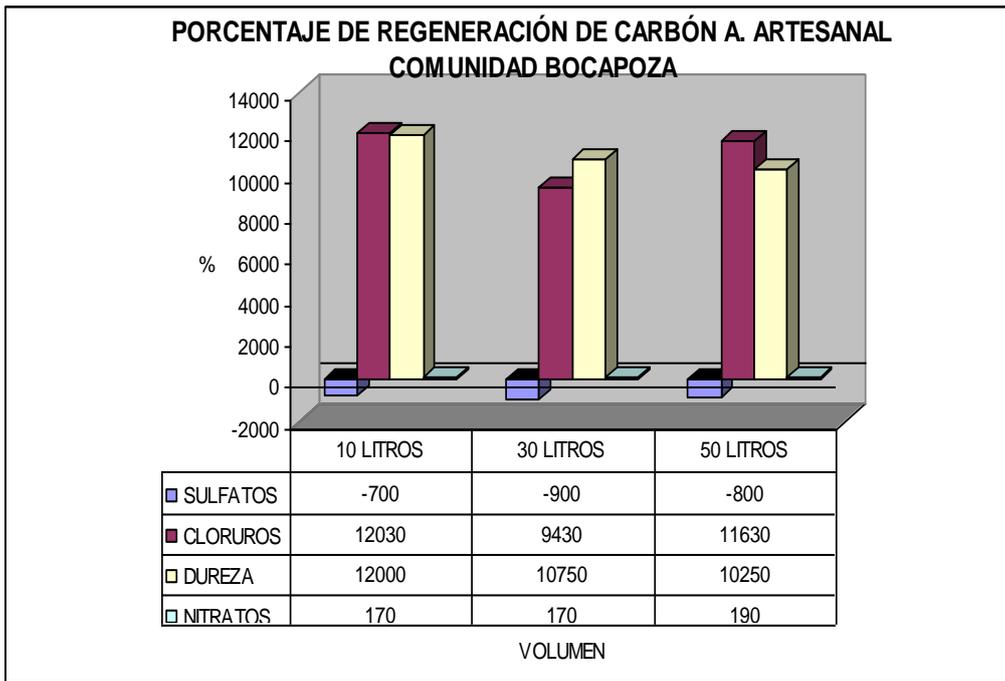
13.3 DATOS DE REGENERACIÓN DEL MATERIAL ADSORBENTE

Tanto para la regeneración de la perlita expandida como para la de carbón artesanal se generaron datos, lo cuales se muestran en las siguientes gráficas comparativas del porcentaje de regeneración.

Es importante recalcar que las muestras con que se comprobó la regeneración del material adsorbente fueron las provenientes de Bocapoza. Los datos correspondientes a la regeneración del carbón activado artesanal se observan en el gráfico 13.1 y 13.2

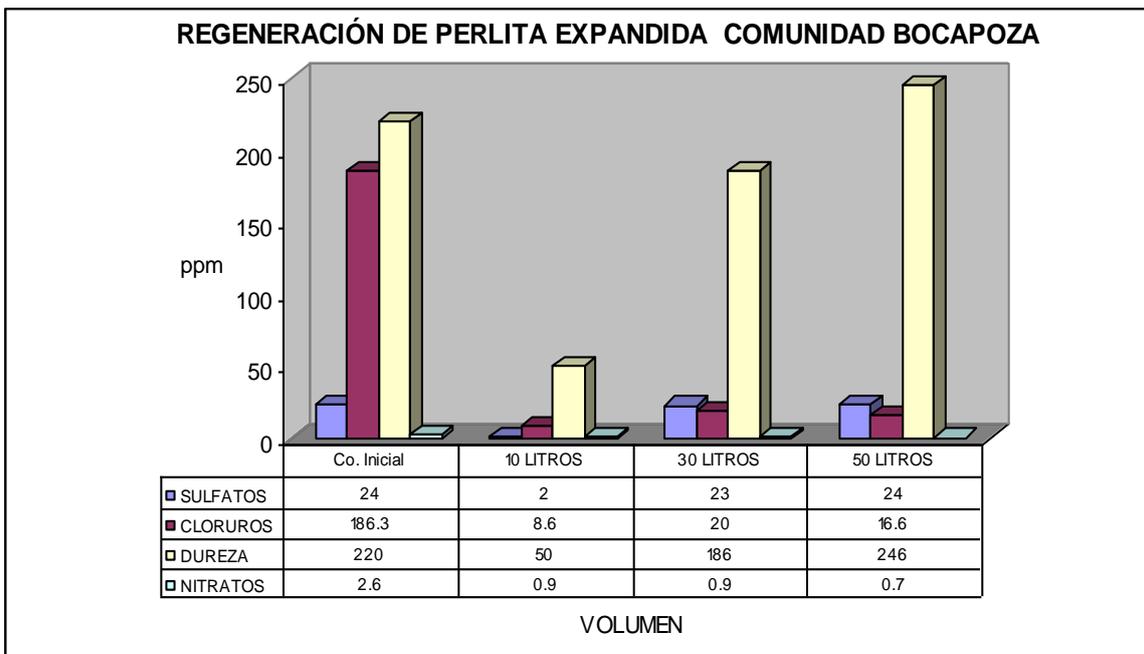


GRÁFICA 13.1: REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL (Fuente: Propia)

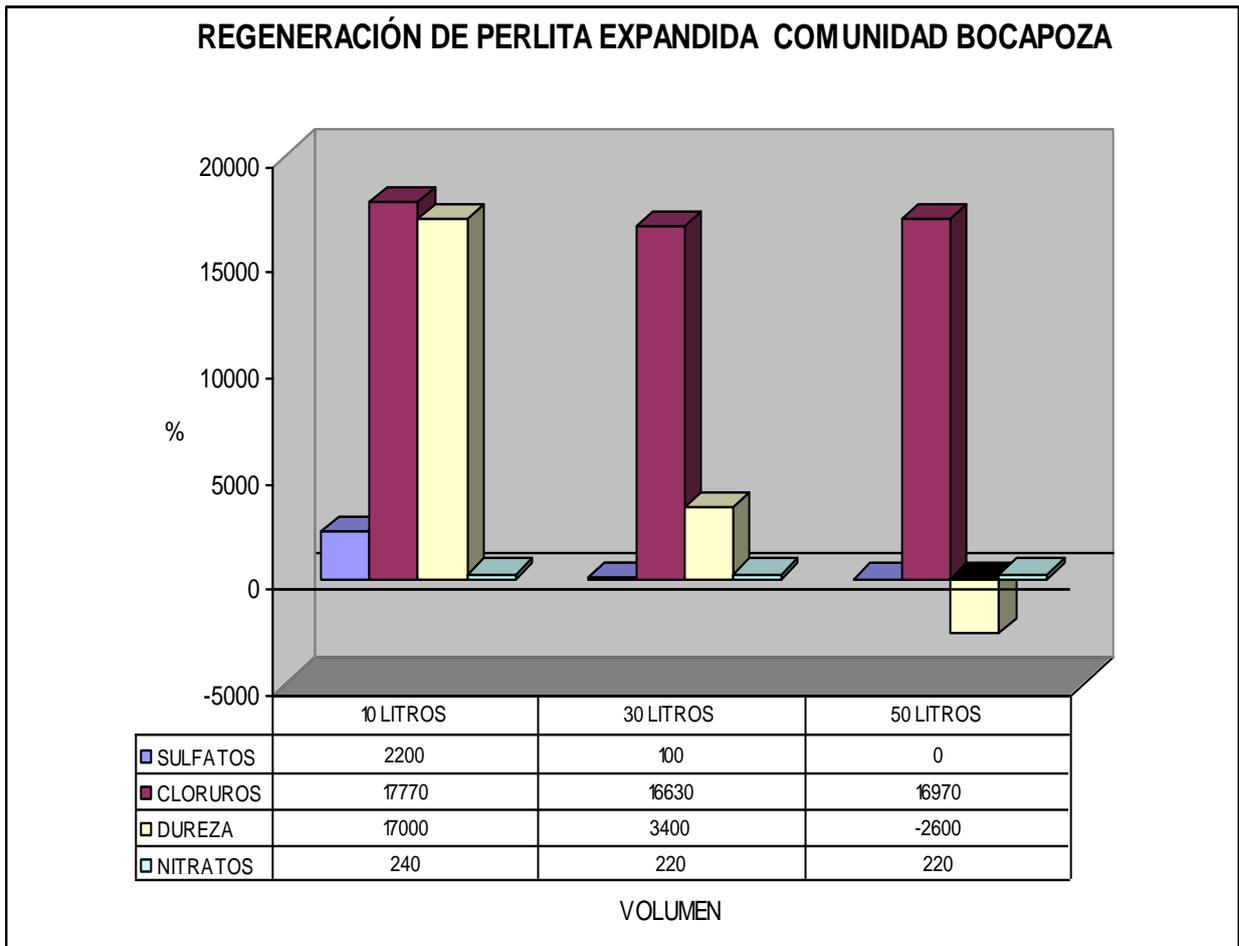


GRÁFICA 13.2: PORCENTAJE DE REGENERACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL (Fuente: Propia)

Como puede observarse la regeneración del material adsorbente se dio para tres de los cuatro parámetros estudiados, por lo que puede considerarse que fue bastante bueno. A continuación se presentan los gráficos de regeneración de perlita expandida.



GRÁFICA 13.3: REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA (Fuente. Propia)



GRÁFICA 13.4: PORCENTAJE DE REGENERACIÓN DE PERLITA EXPANDIDA
(Fuente: Propia)

Como puede observarse la regeneración de la perlita resultó ser factible para el tratamiento de todos los parámetros a excepción de la dureza a un volumen de 50 litros.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de agua lluvia ponen de manifiesto que los parámetros analizados no exceden la norma salvadoreña nso 17.13.01.99, por lo cual es mas rentable no someter a ningún tratamiento al agua lluvia de la zona, refiriéndose únicamente a los parámetros fisicoquímicos
2. La presencia de contaminación microbiológica en el agua lluvia puede atribuirse a factores culturales, como por ejemplo la no utilización de letrinas, entre otros.
3. Los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de agua de pozo dan a conocer que existen parámetros fuera de norma, sin embargo no existe contaminación por el tipo de plaguicidas estudiados en este investigación.
4. Los resultados muestran que existen parámetros que las columnas no son capaces de remover, por lo cual es necesario tomar medidas técnicas alternas como pretratamientos utilizando filtros.
5. Los lechos que se utilizaron en la comunidad Bocapoza se saturan rápidamente, esto puede deberse a la alta carga de salinidad con que cuenta y a la presencia de hierro en las muestras de agua.
6. Los lechos que se utilizaron para la comunidad Melara muestran un alto rendimiento, por lo cual su utilización puede ser factible en la zona
7. La regeneración del material adsorbente muestra un incremento en el número de parámetros que adsorbe el material, por lo cual se puede concluir que al aumentar el tiempo de activación se obtienen sólidos con mejores capacidades de remoción
8. Es necesario tomar en cuenta en la adsorción de soluciones que contienen solutos con alta selectividad por el mismo adsorbente, que la determinación del punto de quiebre debe realizarse a partir del parámetro que presente el agotamiento en el lecho primero.

9. En las muestras sometidas a las pruebas de adsorción se generó un comportamiento descrito por un aumento de remoción con respecto al tiempo, lo cual pone de manifiesto que la columna realizó funciones de filtración.
10. Para fabricar carbón activado artesanal a partir de hueso o concha de coco, deben tenerse en cuenta el grado de madurez y la variedad a que pertenece el coco que se utilizará como precursor, ya que de ello depende la calidad del carbón obtenido.
11. La determinación de la temperatura óptima de carbonización de la concha de coco es de vital importancia, ya que si no se realiza la carbonización a la temperatura adecuada y durante el tiempo establecido para ella, la concha de coco no se carboniza uniformemente o se carboniza demasiado hasta volverse ceniza
12. La activación física del carbón de coco debe realizarse por lo menos durante 2 horas y debe mezclarse continuamente para lograr una activación uniforme en el carbón
13. El área superficial específica de la perlita es mayor que la del carbón activado artesanal, lo cual indica que tiene mayor capacidad de adsorción
14. El relleno sanitario es la opción más favorable para la disposición final de los adsorbentes utilizados, en el caso de que la regeneración de los mismos se vuelva infactible

RECOMENDACIONES

1. Los análisis de agua lluvia mostraron una alta contaminación bacteriológica, por lo cual se hace necesario que se elabore un proyecto que contemple el seguimiento de la contaminación microbiológica y su eliminación.
2. El desarrollo del proyecto a escala piloto es solo una etapa de la puesta en marcha del método remoción, por lo cual para llevarlo a campo se hace necesario realizar pruebas in situ.
3. Para el caso de los análisis de plaguicidas se recomienda para asegurar su existencia o no, llevar a cabo análisis de suelo, para determinar si el material que este contiene esta sirviendo como removedor o adsorbedor del mismo.
4. En el caso de volverse infactible económicamente la utilización de las agua de pozo por haber aumentando su nivel de contaminación, es favorable observar la alternativa del consumo de agua lluvia en esos lugares.
5. La elaboración de carbón activado artesanal presenta una fuente de desarrollo para las comunidades que la utilizan y su elaboración puede dejarse en manos de determinadas personas que se puedan dedicar a este rubro.
6. Se hace necesario concienciar a las personas para que puedan hacer un buen uso de los tanques de captación de agua lluvia, y aprovechar el recurso que hasta el momento consideran

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BIBLIOGRAFIA

1. Amaya Dubón, Bernardo, et al, "**Aplicaciones Industriales del Mineral de Perlita de El Salvador**". Trabajo de graduación para optar al título de ingeniero químico; Universidad de El Salvador; San Salvador, 1980.
2. Asociación Catalana de Ingeniería sin Fronteras (ESF), Asociación para la Cooperación y el Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES), "**Plan Director para el Abastecimiento de agua en zonas rurales del sur de La Libertad**", Primera edición, Arte Gráfico, El Salvador, Diciembre de 2004.
3. Ayres. Gilbert H., "**Análisis Químico Cuantitativo**", Segunda Edición, Editorial HARLA, México, 1970.
4. Benítez Tobar, Esmidio Arístides, et al, "**Propuesta de Separación a nivel de laboratorio de los Contaminantes del agua lluvia que precipita en el municipio de Nejapa, en la zona del volcán de San Salvador**", Trabajo de graduación para optar al título de ingeniero químico; Universidad de El Salvador; San Salvador, 2004.
5. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE); "**Norma Salvadoreña Obligatoria para la calidad del Agua Potable**"; San Salvador; El Salvador, 1999.
6. Flores Meléndez, Martínez Barrera, Martínez Ortiz. "**Eliminación de Hierro y Manganeso en Agua Natural por medio de Aireación y Retención con Lava Volcánica**". Trabajo de graduación para optar al título de ingeniero químico; Universidad de El Salvador; San Salvador, 1992.
7. López, Ricardo Antonio, et al., "**Estudio Sobre La Capacidad de Intercambio Iónico de la Lava Volcánica en Tratamiento de Agua**". Trabajo de graduación para optar al título de ingeniero químico; Universidad de El Salvador; San Salvador, 1986.
8. Treybal, Robert E. "**Operaciones de Transferencia de Masa**", Mc Graw Hill, 1980 2e.

9. Pérez Echegoyen, David, et al, "**Estudio Preliminar sobre Lluvia Ácida en el Área Metropolitana de San Salvador y alrededores**", Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico; Universidad de El Salvador; San Salvador, 1991.
10. Sistema de Información Geográfica "**PLAN DIRECTOR PARA EL SUR DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**". CORDES, La Libertad, 2004
11. Proyecto Geo San Salvador. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. "**Informe Ambiental Urbano Integrado 2004**", Alcaldía Municipal de San Salvador.

REVISTAS

12. Revista Colombiana de Química, Volumen 26 No. 1 de 1997

SITIOS WEB CONSULTADOS

13. Acceso al agua potable en El Salvador, tendencias, perspectivas y desafíos, consultado en Internet en Enero de 2005: www.Prisma.org.sv
14. Adsorción con Carbón Activo, consultado en Internet en Marzo de 2005: http://www.lenntech.com/espanol/agua_potable.htm
15. Adsorción con regeneración seca, consultado en Diciembre de 2005: <http://www.polarisengineering.com/spa/adsorzzione.htm>
16. Adsorción de moléculas en una superficie sólida, consultado en Internet en Marzo-Mayo 2005: <http://nuvol.uji.es/calatayu/adsorcion.html#Enllaç>
17. Adsorción e intercambio iónico en zeolitas, consultado en Internet en MarzoFebrero del 2005: <http://publicaciones.ua.es/adsorcion.html>
18. Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador tendencia y desafíos para la gestión territorial, consultado en Internet en Enero del 2005: <http://www.prisma.org.sv.publicaciones>
19. Análisis del comportamiento hídrico en El Salvador, posibles causas e implicaciones, consultado en Internet en Mayo del 2005: www.snet.gob.sv
20. Aplicaciones del Carbón Activado, consultado en Internet en Febrero de 2005: <http://www.carboapelsa.com.mx/pages/spanish/aplicaciones.html>
21. Boro (B): Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente, consultado en Enero de 2006: <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/B.htm#Efectos del boro sobre la salud>
22. Carbón Granular; consultado en Internet en Marzo de 2005:

- <http://www.activatedcarbon.com.mx/utiliz.htm>
23. Carbones Pulverizados, consultado en Internet en Marzo de 2005:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/utiliz.htm>
 24. Ciencias de la tierra y el medio ambiente, consultado en Internet en Marzo del 2005:
<http://www.tecnun.edu.es/capitulo11>
 25. Clasificación del Carbón activado, consultado en Internet en Marzo de 2005:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/clasif.htm>
 26. Coco, consultado en Internet en Marzo de 2005:
<http://www.consumer.es/>
 27. Construcción de un sistema de captación de agua lluvia, consultado en Febrero del 2005: <http://www.disten-info.net>
 28. Contaminación de la Atmósfera, consultado en Internet en Enero de 2005:
<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/100ConAt.htm#>
 29. El agua, consultado en Enero del 2005, www.cepis-oms.org
 30. El agua en El Salvador, consultado en Marzo del 2005: www.marn.gob.sv
 31. El agua límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador, consultado en Mayo del 2005: www.prisma.gob.sv
 32. El agua una riqueza que se pierde, consultado en Mayo del 2005:
www.prisma.gob.sv/publicaciones
 33. El Aire, consultado en Internet en Enero de 2005:
<http://www.monografias.com/trabajos/aire/aire.shtml#top>
 34. El Carbón Activado, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.perfchem.com/pages/carbonactivado.htm>
 35. El carbón activado, consultado en Internet en Enero de 2006:
<http://www.oviedo.es/personales/carbon/cactivo/impqcatex.htm>
 36. El Carbón Activado – Propiedades, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.iprocor.org/index.htm>
 37. El Coco con beneficios de altura, consultado en Internet en Marzo de 2005:
<http://www-ni.laprensa.com.ni/archivo/2005/enero/19/campoyagro/>
 38. El cuerpo y el agua, consultado en Internet en Mayo del 2005:
www.monografias.como.agua.html
 39. El misterio del Carbón Activado, consultado en Internet en Febrero de 2005:
http://www.activatedcarbon.com.mx/misterio_car_activ.htm
 40. Especificaciones técnicas para la captación de agua lluvia para consumo humano, consultado en Enero del 2005:
<http://www.cepis-oms.org/documentos.agualluvia>

41. Estudio de la adsorción de ácido acético en un producto de la combustión de materiales fibrosos, consultado en Mayo del 2005:
<http://www.monografias.com/trabajo15/adsorción-acido/adsorción-acido.shtml#TEORICA>
42. Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento 2000 en las Américas, Consultado en Marzo del 2005:www.cepis.org/pe
43. Fenómenos de superficie, consultado en Marzo del 2005:
<http://apuntes.rincondelvago.com./adsorcion.html>
44. Filtración de agua con carbón activado (adsorción), consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.supercable.es/urso/index.htm>
45. Filtros de Carbón Activado, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.aguadecalidad.com/id25.htm>
46. Guía de diseño para la captación del agua lluvia, consultado en Mayo del 2005:
www.cepis-oms.org
47. Guía Técnica sobre el Cultivo del Coco, consultado en Internet en Marzo de 2005:
http://www.camagro.com/frutales/docs/guias_tecnicas/GuiaTecnicaCoco.pdf
48. Indicadores de Desarrollo Humano 2003, consultado en Mayo del 2005:
<http://www.care.org.sv>
49. Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en El Salvador, consultado en Marzo del 2005: www.cepis.org.pe/
50. Isotermas de adsorción, consultado en Marzo del 2005:
www.rincondelvago.com/adsorcionisotermas.htm
51. La contaminación del agua, consultado en Mayo del 2005:
<http://www.rincondelvago.com>
52. La hidrogeología. Curso de Hidrogeología básica, consultado en Mayo del 2005:
<http://members.fortunecity.com>
53. Lluvia ácida de origen volcánico, consultado en Marzo del 2005: www.snet.gob.sv
54. Memoria de labores de ANDA para el año 2001, consultado en Mayo del 2005:
www.anda.gob.sv
55. Pieza contra los plaguicidas, consultado en Marzo del 2005: www.unes.gob.sv
56. Por qué es importante cuidar el agua, consultado en Febrero del 2005:
<http://clara.ciceana.org.mx>
57. Preparación de Carbón Activado, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.prof.uniandes.edu.com/~infquimi/revista01/id72.htm>
58. Procesos de Activación, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/procesos.htm>

59. Producción y distribución de agua potable 2003, consultado en Marzo del 2005:
www.anda.gob.sv
60. Purificación en Fase Líquida, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/p-liquida.html>
61. ¿Qué es el Carbón Activado?, consultado en Internet en Febrero de 2005:
<http://www.carbonapelsa.com.mx/pages/spanish/carbonactivado.html>
62. ¿Qué es la Perlita?, consultado en Internet en Enero de 2005:
<http://www.perfiltra.com/perlitas.htm>
63. Recursos de información sobre el agua en El Salvador. Situación actual y desafíos, consultado en Febrero del 2005: www.prisma.org.sv
64. Residuos, consultado en Enero de 2006:
<http://www.monografias.com/trabajos10/residuo/residuo.shtml#disposicion>
65. Residuos sólidos, consultado en Enero de 2006:
[http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.htm#Disposicion final](http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.htm#Disposicion%20final)
66. Sistema de vigilancia epidemiológica para intoxicaciones aguas por plaguicidas, consultado en Abril del 2005: www.ops.com.epidemiologia.pdf
67. Sustancias que contaminan la atmósfera, consultado en Internet en Enero de 2005:
<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/200Conta.htm>
68. Tratamiento de olores y sabores, consultado en Internet en Marzo de 2005:
http://potablewater.iespana.es/tratamiento_de_olores_y_sabores.htm
69. Variables que afectan la adsorción en fase líquida, consultado en Internet en Marzo de 2005:
<http://www.activatedcarbon.com.mx/variab.htm>
70. Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento en áreas rurales de El Salvador, consultado en Abril del 2005: <http://www.ops.org.sv>

ANEXO 1:

**CONTAMINANTES REMOVIDOS DE
MUESTRAS DE AGUA LLUVIA, POR
DIFERENTES MEDIOS ADSORBENTES**

TABLA 1A: PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE VALORES DE PARÁMETROS UTILIZANDO DIFERENTES MEDIOS ADSORBENTES Y DIFERENTES VOLUMENES DE MUESTRA DE AGUA LLUVIA

MATERIAL	VOLUMEN DE AGUA LLUVIA TRATADA	Ph	CONDUCTIVIDAD	NITRATOS	SULFATOS	CLORUROS	DUREZA
PIEDRA VOLCÁNICA SIN CALCINAR	500 ml.	11.2%	-77.37%	No remueve	-----	5.1%	91.99%
	1000 ml	12.37%	-74.61%	No remueve	-----	16.06%	65.06%
	1500 ml	-----	-59.07%	No remueve	-----	26.64%	-----
PERLITA EXPANDIDA US 30	500 ml	7.89%	27.62%	No remueve	25.42%	64.45%	39.14%
	1000 ml	8.28%	30.94%	No remueve	34.71%	66.01%	53.78%
	1500 ml	-----	36.77%	No remueve	-----	67.51%	-----
PIEDRA VOLCANICA CALCINADA	500 ml	5.04%	-19.12%	No remueve	12.23%	67.55%	30.58%
	1000 ml	4.72%	-16.95%	No remueve	46.19%	32.92%	30.74%
	1500 ml	-----	-8.72%	No remueve	-----	34.72%	-----
ARENA DE RIO MALLA 30	500 ml	4.88%	4.37%	No remueve	11.16%	-----	30.58%
	1000 ml	11.45%	5.92%	No remueve	16.70%	14.42%	43.93%
	1500 ml	-----	5.78%	No remueve	-----	14.42%	-----
PERLITA EXPANDIDA MALLA 20	500 ml	2.43%	-17.53%	No remueve	9.90%	41.80%	25.42%
	1000 ml	2.64%	-16.77%	No remueve	25.98%	41.81%	18.74%
	1500 ml	-----	-----	-----	-----	42.17%	-----
ARENA US 20 Y CARBÓN ACTIVADO	500 ml	2.18%	3.11%	No remueve	28.72%	-25.58%	61.98%
	1000 ml	5.30%	11.74%	70.75%	29.81%	-4.03%	61.33%
	1500 ml	-----	21.72%	54.80%	-----	-3.62%	-----

Fuente: Elaboración propia (De acuerdo a resultados obtenidos en Benítez (3))

ANEXO 2:

**CONTAMINANTES CON MUY ALTA, ALTA,
MODERADA Y POCA PROBABILIDAD DE SER
ELIMINADOS POR CARBÓN ACTIVA**

TABLA 2A: COMPUESTOS CON MUY ALTA PROBABILIDAD DE SER ELIMINADOS POR EL CARBÓN ACTIVO (20):

2,4-D	Deisopropiltatraccina	Linuron
Alacloro	Desetilatraccina	Malation
Aldrin	Demeton-O	MCPA
Antraceno	Di-n-butilftalato	Mecoprop
Atraccina	1,2-Diclorobenceno	Metazaclor
Azinfos-etil	1,3-Diclorobenceno	2-Metil bencenamina
Bentazona	1,4-Diclorobenceno	Metil naftaleno
Bifenil	2,4-Diclorocresol	2-Metilbutano
2,2-Bipiridina	2,5-Diclorofenol	Monuron
Bis(2-Etilhexil) Ftalato	3,6-Diclorofenol	Naftaleno
Bromacil	2,4-Diclorofenoxi	Nitrobenceno
Bromodiclorometano	Dieldrin	m-Nitrofenol
p-Bromofenol	Dietilftalato	o-Nitrofenol
Butilbenceno	2,4-Dinitrocresol	p-Nitrofenol
Hipoclorito de calcio	2,4-Dinitrotolueno	Ozono
Carbofurano	2,6-Dinitrotolueno	Paration
Cloro	Diuron	Pentaclorofenol
Dióxido de cloro	Endosulfan	Propaccina
Clorobenceno	Endrin	Simaccina
4-Cloro-2-nitrotolueno	Etilbenceno	Terbutrin
2-Clorofenol	Hezaclorobenceno	Tetracloroetileno
Clorotolueno	Hezaclorobutadieno	Triclopír
Criseno	Hexano	1,3,5-Trimetilbenceno
m-Cresol	Isodrin	m-Xileno
Cinaccina	Isooctano	o-Xileno
Ciclohexano	Isoproturon	p-Xileno
DDT	Lindano	2,4-Xilenol

Fuente: <http://www.lenntech.com/español/agua-potable.htm>

TABLA 2B: COMPUESTOS CON ALTA PROBABILIDAD DE SER ELIMINADOS POR EL CARBÓN ACTIVO (22):

Anilina	Dibromo-3-cloropropano	1-Pentanol
Benceno	Dibromoclorometano	Fenol
Alcohol bencílico	1,1-Dicloroetileno	Fenilalanina
Ácido benzoico	cis-1,2- Dicloroetileno	Ácido o-ftálico
Bis(2-cloroetil) éter	trans-1,2- Dicloroetileno	Estireno
Bromodichloromethane	1,2-Dicloropropano	1,1,2,2-Tetracloroetano
Bromoformo	Etileno	Tolueno
Tetracloruro de carbono	Hidroquinona	1,1,1-Tricloroetano
1-Cloropropano	Metil Isobutil Ketona	Tricloroetileno
Clorotoluron	4-Metilbencenamina	Acetato de vinilo

Fuente: <http://www.lenntech.com/español/agua-potable.htm>

TABLA 2C: COMPUESTOS CON PROBABILIDAD MODERADA DE SER ELIMINADOS POR EL CARBÓN ACTIVO (23)

Ácido acético	Dimetoato	Metionina
Acrilamida	Etil acetato	Metil-tert-butil éter
Cloroetano	Etil éter	Meti etil ketona
Cloroformo	Freón 11	Piridina
1,1-Dicloroetano	Freón 113	1,1,2-Tricloroetano
1,2-Dicloroetano	Freón 12	Cloruro de vinilo
1,3-Dicloropropeno	Glifosato	
Dikegulac	Imazipur	

Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/agua-potable.htm> (Para estos compuestos el carbón activo es una tecnología efectiva solo en ciertos casos).

TABLA 2D: COMPUESTOS PARA CUYA ELIMINACIÓN NO ES PROBABLE QUE EL CARBÓN ACTIVO SEA EFECTIVO(21)

Acetona	Cloruro de metileno
Acetonitrilo	1-Propanol
Acrilonitrilo	Propionitrilo
Dimetilformaldehido	Propileno
1,4-Dioxano	Tetrahidrofurano
Isopropil alcohol	Urea
Cloruro de metilo	

Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/agua-potable.htm>

ANEXO 3:

RECIPIENTES UTILIZADOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS MICROBIOLÓGICAS Y FISICOQUÍMICAS

TABLA 3A: RECIPIENTES PARA TOMA DE MUESTRAS MICROBIOLÓGICAS Y FISICOQUÍMICAS

ANÁLISIS A REALIZAR EN LA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS DEL RECIPIENTE	RECIPIENTE
Microbiológicos	Inerte, que permita ser sellado evitando que se encuentren burbujas dentro y que se encuentre estéril.	
Fisicoquímicos y metales pesados	Inerte, que contenga tapadera de rosca que se ajuste al recipiente evitando derrames y que se encuentre limpio.	
Pesticidas	De color ámbar, de vidrio, inerte y previamente esterilizado.	

Fuente: Propia

ANEXO 4:

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE AGUA

MUESTREO DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO EN COMUNIDADES RURALES

Nombre del muestreador _____

Hora de muestreo: _____

Fecha de muestreo: _____

Lugar de muestreo: _____

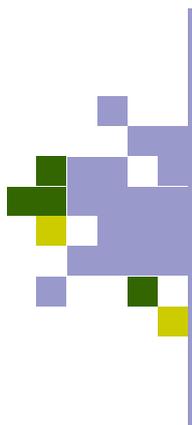
Tipo de muestra: _____

AGUA DE POZO

AGUA LLUVIA

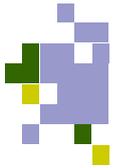
Parámetros que desea
analizar _____

ANEXO 5:
**MANUAL DEL MUESTREADOR DE AGUA
LLUVIA**



**MANUAL
DEL MUESTREADOR
DE
AGUA
LLUVIA**

NOMBRE DEL MUESTREADOR :



MANUAL DEL MUESTREADOR

INTRODUCCIÓN

El trabajo que lleva a cabo el muestreador es sumamente importante ya que una muestra mal tomada no permitirá conocer la composición exacta del agua que se pretenda representar, aunque sea analizada cuidadosamente y además malgasta el trabajo de laboratorio.

Tanto el recipiente colector, como los frascos almacenadores de muestras utilizados, no deben contaminarse en su interior. Los frascos a utilizar deben ser plásticos y nuevos. Deben lavarse con agua lluvia de muestra.

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO.

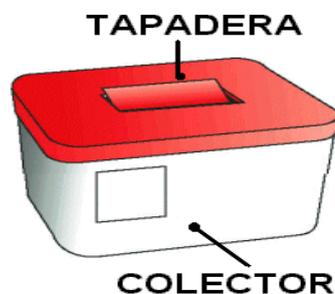
- De ser posible, el punto de muestreo deberá estar ubicado en un sitio pavimentado, en una segunda planta de una casa o edificio, sobre techo. En el caso, de que el sitio estuviera localizado sobre el suelo o grama, deberá utilizar un banco alto para colocar el colector.
- No debe estar colocado muy cerca de paredes o desagües de casas.
- No debe estar debajo de la sombra de árboles o cerca de ellos.
- Debe evitarse cualquier situación o condición que contamine la muestra.

KIT DEL MUESTREADOR

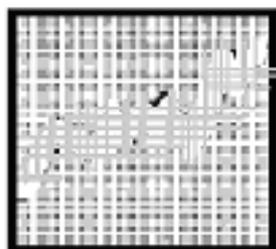
A Usted se le ha proporcionado el siguiente material (Kit) para que pueda recolectar el agua lluvia :



1. Un manual del muestreador



2. Un colector con su tapadera



4. Una zaranda de plástico



5. Una regla graduada transparente y lapicero



6. Una cinta teflón



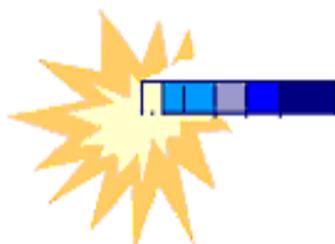
7. Viñetas



8. Un termómetro



MANUAL DEL MUESTREADOR

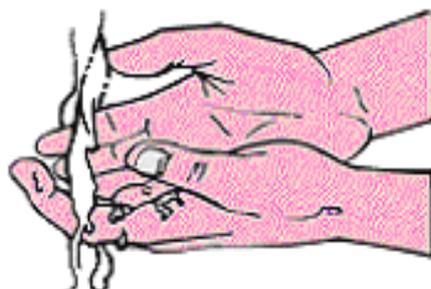


11. Un medidor de pH



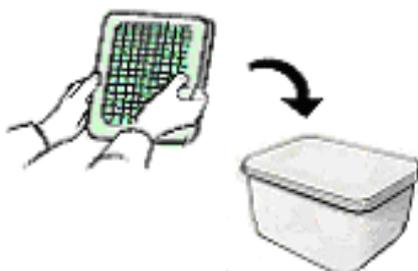
12. Una caja para guardar el kit

1. COMO VAMOS A OBTENER EL AGUA LLUVIA ?



ES IMPORTANTE LAVARSE LAS MANOS ANTES DE CUALQUIER OPERACIÓN !!!

1. Primero **OBSERVE SU COLECTOR** para ver si se encuentra limpio y que esté completamente seco. Si no está limpio, lávelo y póngalo al sol hasta que esté completamente seco.
2. Asegúrese que la zaranda esté completamente limpia y seca.

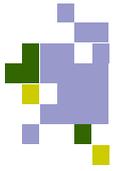


3. Coloque la zaranda sobre el colector sin tapadera y ubíquelo a estos en el lugar donde va a tomar el agua lluvia.



4. Anote el día, y la hora a la que inicia la lluvia.

- 5 Tenga a la mano el termómetro y el papel pH



MANUAL DEL MUESTREADOR

6. Una vez que tenga una cantidad de agua suficiente , proceda a medir la temperatura.
7. Proceda a medir el pH del agua.
8. Cuando la lluvia haya terminado, proceda a medir la temperatura final.
9. Anote la hora en que finalizó.
10. Anote cualquier observación que considere importante.
11. La recolección de agua lluvia se realizará una vez por semana.

2. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA TEMPERATURA DEL AGUA LLUVIA.

EL TERMOMETRO ES UN INSTRUMENTO QUE MIDE LA TEMPERATURA DEL AGUA. ES SUMAMENTE DELICADO YA QUE ESTÁ CONSTRUIDO EN VIDRIO, TENGA EL CUIDADO NECESARIO.

1. Tome una cantidad de agua lluvia en un recipiente que esté limpio y colóquelo en un lugar limpio. Antes de usar el recipiente, enjuáguelo con agua lluvia
2. Coloque cuidadosamente el termómetro sumergiéndolo en la muestra de agua.



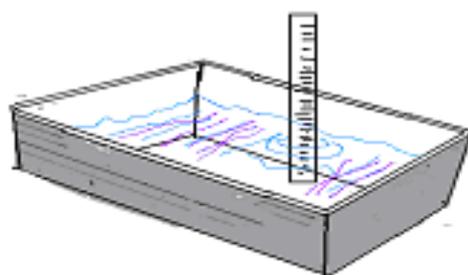
3. Espere un de tiempo 3 minutos o el suficiente que permita obtener una lectura constante en el termómetro.
4. Una vez constante la lectura en el termómetro, anótela como la temperatura de la muestra en la hoja que se le ha dado para ello.
5. Repita el procedimiento (hacer dos lecturas), siguiendo el proceso descrito al inicio de la lluvia y cuando finaliza.
5. Se tomará la temperatura una vez por semana.



3. PROCEDIMIENTO PARA MEDIR EL VOLUMEN DE AGUA PRECIPITADO

Con la regla plástica graduada mida la cantidad de agua que ha caído.

1. Coloque la regla dentro del colector pegada a una pared del colector.

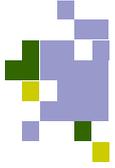


1. Lea la altura a la que alcanza a mojar el agua a la regla.
2. Anótela en la hoja para anotaciones.

Se tomará el volumen precipitado una vez por semana.

4. COMO SE MIDE EL pH ?

1. Tome un papel pH, con cuidado de que este no entre en contacto con el agua.
2. Sumérjalo en el recipiente colector que contiene agua lluvia.
3. Observe el cambio de color en el papel pH, y compare con los colores de la escala de colores
4. Anote el número al que corresponden los colores que tiene el papel pH, en la hoja de anotaciones
5. El papel pH una vez que se utiliza no puede volver a usarse, así que puede descartarse como basura



4. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS PARA ALMACENAR

Usted dispone de frascos plásticos para la toma de una muestra de agua y de un frasco color ámbar para la toma de una segunda muestra. DESPUES de que la lluvia haya terminado y el colector tenga suficiente agua, es momento de tomar muestras para almacenarlas .A continuación se presenta el procedimiento a seguir :

1. Lávese las manos antes de comenzar a tomar las muestras



1. Verificar que el frasco almacenador de muestra disponga de su respectiva viñeta con los siguientes datos :

Punto : _____

Fecha que llueve : _____

Hora de inicio de la lluvia : _____ Hora final : _____

Milímetros Precipitados : _____

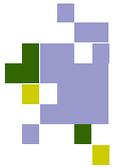
pH : _____ Temperatura inicio _____

Temperatura final : _____

Nombre del muestreador : _____

Observaciones : _____

2. Verificada la viñeta, ésta se llena según los datos pedidos en el momento oportuno.
3. Luego se quita la zaranda del colector, tomándolo por el borde (procurar no tocar por dentro a la zaranda).
4. Sin tocar el colector por dentro, tomándolo por el borde, inclínelo y llene el frasco almacenador de muestra hasta que revalse .



MANUAL DEL MUESTREADOR

luego taparlo herméticamente utilizando cinta teflón en la rosca del frasco.

5. Guarde las muestras en la hielera CON HIELO ,no debe moverse innecesariamente.
6. Recolectada la muestra y almacenada, el colector y la zaranda deben lavarse con agua lluvia .
7. Inclínelos para eliminar lo restante de agua que pueda quedar.
8. Seque el colector al sol.
9. Una vez secos estos, guárdelos en bolsas plásticas para evitar se contamine con grasas, partículas finas y/o extrañas.
10. La toma de muestra se hará cada dos semanas.

ANEXO 6:

GUÍA DE LABORATORIO PARA FABRICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CONCHA DE COCO

GUÍA DE LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE ESTOPAS DE COCO.

OBJETIVOS:

1. Elaborar carbón activo a partir de estopas de coco.
2. Utilizar activación física, mediante vapor de agua
3. Determinar la efectividad del carbón activo en una solución de dicromato de potasio.

MATERIAL Y EQUIPO:

PARTE EXPERIMENTAL A: ETAPA DE CARBONIZACIÓN

Horno, marca Thermolyne modelo Furnace 1300

Balanza semianalítica

espátula

Crisoles de porcelana

agitador de vidrio

beaker 250 ml

vidrios de reloj

frasco lavador

Reactivos

Cáscara de coco secas y trituradas (huevo)

PARTE EXPERIMENTAL B: ETAPA DE ACTIVACIÓN

Balanza semianalítica

Desecador

Vidrios de reloj

Espátula

Ollas de acero

Colador de metal

Mecheros bunsen

Erlenmeyer de 1 litro

Trípode

Malla de asbesto

Reactivos

Agua destilada

Carbón proveniente de estopa de coco

PARTE EXPERIMENTAL C: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL CARBÓN ACTIVO

2 pipetas volumétricas de 250 ml

1 pera

1 kitasato

1 embudo para vacío papel filtro

4 beaker de 250 ml

1 frasco lavador

1 manguera

2 espátulas

1 balón volumétrico de 500 ml

5 erlenmeyer de 25

Espectrofotómetro

4 agitadores magnéticos

1 embudo de vidrio

Reactivos

1 Agua destilada

1 Dicromato de potasio

Carbón activado proveniente de estopa de coco

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL A: ETAPA DE CARBONIZACIÓN

1. Dividir la muestra de hueso de coco en maduro y tierno, y el maduro en tres muestras.
2. Pesar cada una de las muestras en vidrio de reloj, anotar los resultados.
3. Depositar las muestras en erlenmeyer de 250 ml. Previamente rotulados así:
Coco maduro A, coco maduro B y así sucesivamente.
4. Colocar las muestras en crisoles de la siguiente manera:

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO
Coco maduro A	300	½ hora
Coco maduro B	300	1 hora
Coco maduro C	400	½ hora
Coco tierno A	200	15 minutos
Coco tierno B	200	½ hora

5. Sacar las muestras y colocar en el desecador por ½ hora, pesar y anotar los resultados.

PARTE EXPERIMENTAL B: ETAPA DE ACTIVACIÓN

1. Montar el equipo de activación.
2. Colocar la olla con 2 litros de agua destilada y llevar a ebullición
3. Colocar cada una de las muestras de carbón en la rejilla de la siguiente manera

MUESTRA	TIEMPO
Coco maduro A	1 ½ hora
Coco maduro B	1 hora
Coco maduro C	1 ½ hora
Coco tierno A	1 1/2 hora
Coco tierno B	1 hora

- Colocar las muestras en el desecador, pesar y anotar los resultados

**PARTE EXPERIMENTAL C: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DEL
CARBÓN ACTIVO**

- Preparar soluciones patrón de dicromato de potasio
- Medir Transmittancia de las soluciones patrón, anotar
- Pesar cantidades iguales de carbón activado y agregar a las soluciones, anotar.
- Llevar a equilibrio de adsorción por medio de agitación, durante ½ hora.
- Filtrar soluciones.
- Medir transmittancia de cada una de las muestras filtradas.

TABULACIÓN DE DATOS EXPERIMENTALES

TABLA DE PESOS

MUESTRA	PESO ESTOPAS (G)	PESO CARBÓN (G)	PESO C ACTIVADO (G)
Coco maduro A			
Coco maduro B			
Coco maduro C			
Coco tierno A			
Coco tierno B			

TABLA CUALITATIVA DE ETAPA CARBONIZACIÓN

MUESTRA	T(°C)	TIEMPO	COMENTARIOS
Coco maduro A	300	½ hora	
Coco maduro B	300	1 hora	
Coco maduro C	400	½ hora	
Coco tierno A	200	15 minutos	
Coco tierno B	200	½ hora	

TABLA CUALITATIVA DE ACTIVACIÓN

MUESTRA	TIEMPO	COMENTARIOS
Coco maduro A	1 ½ hora	
Coco maduro B	1 hora	
Coco maduro C	1 ½ hora	
Coco tierno A	1 1/2 hora	
Coco tierno B	1 hora	

TABLA DE TRAMITANCIA

MUESTRA	C (M)	T (PATRONES)	T (MUESTRA)
1	0.01		
2	0.02		
3	0.03		
4	0.04		
5	0.05		

TABLA DE PESOS DE CARBÓN ACTIVADO AÑADIDO A LAS SOLUCIONES

MUESTRA	PESO C ACTIVADO (G)
Coco maduro A	
Coco maduro B	
Coco maduro C	
Coco tierno A	
Coco tierno B	

ANEXO 7:

ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS DE AGUA LLUVIA Y AGUA DE POZO

PUNTO 1 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	2.4
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	>100
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	0
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	0

PUNTO 2 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	1.40
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	15
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	0
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	0

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	0.9
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	5
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	2
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	2

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	7.1
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	13
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	2
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	1

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	2.2
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	>100
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	0
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	0

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO)

PARÁMETROS QUÍMICOS				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
TURBIEDAD	NTU	1	5	1.1
COLOR	Upt-Co	No rechazable	15	-
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS				
METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA				
PARÁMETRO	UNIDADES	NORMA		RESULTADO
		Valor recomendado	Valor máximo admisible	
BACTERIAS COLIFORMES TOTALES	UFC / 100ml	0	0	>100
BACTERIAS COLIFORMES FECALES	UFC / 100ml	0	0	0
ESCHERICHIA COLI	UFC / 100ml	0	0	0

POZO ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	: 7.58(23.8°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 737.0	± 18.4	ppm	refAPHA2540B(1)
Conductividad Eléctrica*	: 1149.1	± 0.0	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 443.7	± 7.2	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 443.7	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 223.9	± 3.1	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: 1.09	± 0.01	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.072	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros ^o	: 94.0	± 1.0	ppm Cl ⁻	Turbidimétrico(2)
Sulfatos ^o	: 36.2	± 0.8	ppm SO ₄ ^o	refAPHA1963(4)
Plomo ^o	: 0.001	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico ^o	: 0.0009	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃) ^o	: 2.6	± 0.0	ppm NO ₃	Brucina(5)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: 3.2	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: 44.0	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 0.7	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	: 80.4	± 3.1	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 143.5	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: 22.9	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: 159.5	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendidos Totales	: 6.0	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: 2.5	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: 0.006	± 0.0	ppm NO ₂	Diazotización(6)
Cadmio	: ND	± 0.0	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	: 0.08	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

POZO ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	: 7.34(23.9°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 473.0	± 24.0	ppm	refAPHA2540B(1)
Conductividad Eléctrica*	: 657.4	± 0.0	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 204.0	± 7.7	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 204.0	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 80.4	± 3.1	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: 0.02	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.072	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	: 75.6	± 0.4	ppm Cl	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	: 26.4	± 0.4	ppm SO ₄ ²⁻	refAPHA1963(4)
Plomo*	: 0.001 *	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	: ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃) ⁺	: 1.7	± 0.0	ppm NO ₃ ⁻	Brucina(5)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 4.5	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	: 47.8	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 32.6	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: 8.2	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: 107.2	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendedos Totales	: 4.0	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: 1.8	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: ND	± 0.0	ppm NO ₂ ⁻	Diazotización(6)
Cadmio	: ND	± 0.0	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazona(5)
Aluminio	: 0.035	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	: 6.34(23.8°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 10.0	± 0.0	ppm	refAPHA2540B(1)
Conductividad Eléctrica*	: 6.3	± 0.01	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 20.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 20.4	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 8.7	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: 0.02	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.096	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	: ND	± 0.0	ppm Cl ⁻	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	: ND	± 0.0	ppm SO ₄ ²⁻	refAPHA1963(4)
Plomo*	: 0.002	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	: ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃)*	: 1.7	± 0.0	ppm NO ₃ ⁻	Brucina(5)

<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 0.7	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	: 2.2	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 6.5	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: 0.5	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: 1.3	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendidos Totales	: ND	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: 0.4	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: ND	± 0.0	ppm NO ₂ ⁻	Diazotización(6)
Cadmio	: 0.0019	± 0.00007	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	: ND	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	: 6.62(23.6°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 10.0	± 1.4	ppm	refAPHA2540B(1)
Conductividad Eléctrica*	: 8.9	± 0.01	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 20.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 20.4	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 8.7	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: 0.02	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.048	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	: ND	± 0.0	ppm Cl	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	: ND	± 0.0	ppm SO ₄ ⁻²	refAPHA1963(4)
Plomo*	: 0.004	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	: ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃) ⁻	: 1.9	± 0.0	ppm NO ₃ ⁻	Brucina(5)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 0.5	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	: 2.2	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 6.5	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: 0.5	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: 1.2	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendedos Totales	: ND	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: 0.2	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: ND	± 0.0	ppm NO ₂ ⁻	Diazotización(6)
Cadmio	: 0.0018	± 0.00007	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	: 0.04	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

PUNTO 1 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

ANALISIS	Resultado	Incerteza	Expresado como	Método de Análisis
pH*	: 6.18(23.8°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 15.0	± 1.4	ppm	refAPHA2540B(1)
Conductividad Eléctrica*	: 26.9	± 0.2	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 20.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 20.4	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 8.7	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: 0.02	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.096	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	: 2.9	± 0.1	ppm Cl ⁻	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	: ND	± 0.0	ppm SO ₄ ⁼	refAPHA1963(4)
Plomo*	: 0.001	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	: ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃)*	: 1.7	± 0.0	ppm NO ₃ ⁻	Brucina(5)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 0.7	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	: 4.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 4.3	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: 0.7	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: 2.6	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendidos Totales	: ND	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: ND	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: ND	± 0.0	ppm NO ₂ ⁻	Diazotización(6)
Cadmio	: 0.0004	± 0.0	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	: 0.025	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

PUNTO 2 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	6.66 (23.9°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	10.1	± 0.0	ppm	refAPHA2500B(1) refAPHA2540D(1)
Conductividad Eléctrica*	13.3	± 0.02	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	20.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	20.4	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	8.7	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	0.01	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	0.048	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	0.8	± 0.0	ppm Cl ⁻	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	ND	± 0.0	ppm SO ₄ ²⁻	refAPHA1963(4)
Plomo*	0.003	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃) [*]	2.1	± 0.0	ppm NO ₃ ⁻	Brucina(5)
<u>ANÁLISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	0.7	± 0.0	Unidades NT	ref APHA2130B(1)
Calcio *	2.2	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	6.5	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	0.7	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	8.8	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendidos Totales	3.0	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	ND	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	ND	± 0.0	ppm NO ₂ ⁻	Diazotización(6)
Cadmio	0.002	± 0.0	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	0.04	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

PUNTO TESTIGO AYUTUXTEPEQUE: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
pH*	: 6.44(24°C)	± 0.0	Unidades	refAPHA4500HB(1)
Sólidos Totales	: 2.8	± 0.0	ppm	refAPHA2500B(1), refAPHA2540D(1)
Conductividad Eléctrica*	: 6.78	± 0.01	µmhos/cm	refAPHA2510B(1)
Alcalinidad Total	: 20.4	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Carbonatos	: ND	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Bicarbonatos	: 20.4	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA2320B(1)
Dureza Total*	: 8.7	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA2340C(1)
Hierro Total*	: ND	± 0.0	ppm Fe	refAPHA3500FeC(1)
Manganeso Total*	: 0.024	± 0.0	ppm Mn	Peryodato(2)
Cloruros*	: ND	± 0.0	ppm Cl	Turbidimétrico(2)
Sulfatos*	: ND	± 0.0	ppm SO ₄ ²⁻	refAPHA1963(4)
Plomo*	: 0.003	± 0.0	ppm Pb	Ditizona(5)
Arsénico*	: ND	± 0.0	ppm As	refAPHA3500As(3)
Nitratos (NO ₃)*	: 1.5	± 0.0	ppm NO ₃	Brucina(5)

<u>ANALISIS</u>	<u>Resultado</u>	<u>Incerteza</u>	<u>Expresado como</u>	<u>Método de Análisis</u>
Color Verdadero*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Color Aparente*	: ND	± 0.0	Unidades Pt - Co	Platino- Cobalto(5)
Turbidez*	: 0.3	± 0.0	Unidades NT	refAPHA2130B(1)
Calcio *	: 2.2	± 0.0	ppm CaCO ₃	refAPHA3500CaB(1)
Magnesio*	: 6.5	No aplica	ppm CaCO ₃	refAPHA3500MgE(1)
Potasio	: ND	± 0.0	ppm K	EAAS(7)
Sodio	: ND	± 0.0	ppm Na	EAAS(7)
Sólidos Suspendidos Totales	: ND	± 0.0	ppm	refAPHA2540D(1)
Mercurio	: ND	± 0.0	ppm Hg	Hach(8)
Boro	: ND	± 0.0	ppm B	Carmin(6)
Nitritos	: ND	± 0.0	ppm NO ₂	Diazotización(6)
Cadmio	: 0.0022	± 0.0	ppm Cd	Ditizona(8)
Cromo(+6)*	: ND	± 0.0	ppm Cr	Difenilcarbazida(5)
Aluminio	: ND	± 0.0	ppm Al	Eriocromo Cianina(6)

ANÁLISIS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL
MELARA

COD	DETERMINACION	RESULTADO ± INCERT	LDM	UNIDADES	METODO	REFERENCIA
R151	Hexaclorobenceno	ND	0.033	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R010	Lindano	ND	0.014	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R007	Heptaclor	ND	0.008	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R001	Aldrín	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R008	Heptaclor epóxido	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R152	Gamma Clordano	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R153	2,4' DDE	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R117	Endosulfán I	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R154	Alfa Clordano	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R006	Dieldrín	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R155	4,4' DDE	ND	0.004	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R009	Endrín	ND	0.004	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R118	Endosulfán II	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R156	4,4' DDD	ND	0.015	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R004	2,4' DDT	ND	0.013	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R012	Diazinón	ND	0.007	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R016	Metil Paratión	ND	0.009	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R014	Malatión	ND	0.009	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R015	Paratión	ND	0.007	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R013	Etión	ND	0.005	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141

ANÁLISIS DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL
BOCAPOZA

COD	DETERMINACION	RESULTADO ± INCERT	LDM	UNIDADES	METODO	REFERENCIA
R151	Hexaclorobenceno	ND	0.033	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R010	Lindano	ND	0.014	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R007	Heptaclor	ND	0.008	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R001	Aldrín	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R008	Heptaclor epóxido	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R152	Gamma Clordano	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R153	2,4' DDE	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R117	Endosulfán I	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R154	Alfa Clordano	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R006	Dieldrín	ND	0.006	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R155	4,4' DDE	ND	0.004	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R009	Endrín	ND	0.004	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R118	Endosulfán II	ND	0.007	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R156	4,4' DDD	ND	0.015	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R004	2,4' DDT	ND	0.013	ug/Litro	GC-uECD	US EPA 3510C, 8081
R012	Diazinón	ND	0.007	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R016	Metil Paratión	ND	0.009	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R014	Malatión	ND	0.009	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R015	Paratión	ND	0.007	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141
R013	Etión	ND	0.005	ug/Litro	GC-FFD	US EPA 3510C, 8141

ANEXO 8:

ANALISIS DE LABORATORIO PROCEDENTES DE LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS COLUMNAS DE ADSORCIÓN

ANÁLISIS QUÍMICO AGUA DE POZO, COMUNIDAD BOCAPOZA

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	220.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	186.3
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	24.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	2.60

ANÁLISIS QUÍMICO AGUA DE POZO, COMUNIDAD MELARA

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	98.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	147.5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	32.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.20

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	44.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	1.6
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	1.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.00

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	46.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	1.9
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	1.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.20

PUNTO 1 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	36.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	2.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	1.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.30

PUNTO 2 EL COYOLAR MUESTRA: AGUA LLUVIA (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	36.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	2.6
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	1.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.00

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, PERLITA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	244.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	80.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	17.4
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	3.00

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, PERLITA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	264.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	95.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	18.2
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	3.70

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, PERLITA 3 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	256,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	75,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	19,0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	5,10

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	254,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	55,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	17,8
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	2,70

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	246,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	70,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	19,4
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	2,40

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 3 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	304,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	29,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	17,4
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	2,90

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL
1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	134,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	45,3
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	12,7
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1,50

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL
2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	124,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	57,5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	15,4
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1,50

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL
3 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	346,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	80,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	16,7
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,60

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, (ANÁLISIS BORO)

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	RANGO	MÉTODO	REFERENCIA
A015 Boro	0,92	mg/L	- 0,3	Método de Carmin	4500 B

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, PERLITA 1 (ANÁLISIS BORO)

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	RANGO	MÉTODO	REFERENCIA
A015 Boro	0,75	mg/L	- 0,3	Método de Carmin	4500 B

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, PERLITA 2 (ANÁLISIS BORO)

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	RANGO	MÉTODO	REFERENCIA
A015 Boro	1,01	mg/L	- 0,3	Método de Carmin	4500 B

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 1 (ANÁLISIS BORO)

ANÁLISIS					
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	RANGO	MÉTODO	REFERENCIA
A015 Boro	0.91	mg/L	- 0.3	Método de Carmin	4500 B

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL 1 (ANÁLISIS BORO)

ANÁLISIS					
DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	RANGO	MÉTODO	REFERENCIA
A015 Boro	0.14	mg/L	- 0.3	Método de Carmin	4500 B

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	74,5
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	29,8
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SÚLFATO	mg/l SO ₄	25	250	19,8
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,90

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL BOCAPOZA, CARBÓN ACTIVADO ARTESANAL 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	85,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	34,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SÚLFATO	mg/l SO ₄	25	250	20,6
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,80

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, PERLITA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	30,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	70,0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SÚLFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.9
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	18.50

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, PERLITA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	50.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	74.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.8
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	22.90

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	114.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	34.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	13.6
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0.35

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	132.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	29.8
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	13.6
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0.40

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL 3 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	150.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	80.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	25.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0.50

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA PERLITA 1(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	0.6
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.3
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	11.5
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.40

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA PERLITA 2(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	0.8
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	10.2
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.45

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PERLITA 3(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	
NITRATO	mg/l	-	-	

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PERLITA 1(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	0.8
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.1
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	13.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	11.50

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	5.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	N.D.
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	12.1
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.30

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	6.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	N.D.
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	12.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.35

PUNTO 1 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 3 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	3.5
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.35
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	11.5
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.60

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	12.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	N.D.
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	12.1
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.30

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 2(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	4.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.4
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	12.0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.50

PUNTO 2 EL MANGO MUESTRA: AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 3(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	14.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	2.8
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	18.2
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.80

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 1, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	10.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.50
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.80
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.45

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 1, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	5.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.20
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.09
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.70

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 1, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PERLITA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	2.5
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.3
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0.50

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 2, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 1(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	5.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.20
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.09
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.70

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 2, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PIEDRA VOLCÁNICA 2(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	11.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.82
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.70
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.65

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, PERLITA 1(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	42.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	112.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.98
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	30.10

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA, PERLITA 3(ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	42.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	112.0
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	0.98
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	30.10

SAN LUIS EL COYOLAR PUNTO 1, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PERLITA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	4.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	1.3
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	N.D.
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.28

EL MANGO 1, MUESTRA DE AGUA LLUVIA. PERLITA 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	2.7
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.3
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	N.D.
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0.70

POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA REGENERACIÓN PERLITA 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	7.0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	0.5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0.5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	N.D.
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	1.55

**POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA REGENERACIÓN PERLITA 2
(ANÁLISIS QUÍMICO)**

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	246,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	16,6
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	24,0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,40

**POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA REGENERACIÓN CARBÓN
ACTIVADO ARTESANAL 1 (ANÁLISIS QUÍMICO)**

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	92,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	112,5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	33,0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,90

**POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA REGENERACIÓN CARBÓN
ACTIVADO ARTESANAL 2 (ANÁLISIS QUÍMICO)**

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	92,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	112,5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	33,0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,90

**POZO DE ABASTECIMIENTO COMUNAL MELARA REGENERACIÓN CARBÓN
ACTIVADO ARTESANAL 3 (ANÁLISIS QUÍMICO)**

ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	30	350	-
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	100	400	70,0
CLORUROS	mg/l Cl ⁻	25	250	117,5
CLORO RESIDUAL	mg/l Cl ₂	0,5	1	CRUDA
SULFATO	mg/l SO ₄	25	250	32,0
BICARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
HIDROXIDOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
CARBONATOS	mg/l CaCO ₃	-	-	-
NITRATO	mg/l	-	-	0,70

ANEXO 9:

**MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS
CAPÍTULOS VII, IX Y XII**

MEMORIA DE CÁLCULO

CAPÍTULO VII

Ensayo para determinar el grado de madurez de la concha de coco (precursor) para la obtención de carbón activado artesanal.

Los rendimientos obtenidos para el coco maduro son los siguientes:

Ejemplo de cálculo:

$$\frac{6.52g_{decarbón}}{16.90g_{deconcha}} = \frac{0.386g_{carbón}}{g_{deconcha}}$$

El rendimiento promedio del coco maduro es:

$$\frac{0.386 + 0.459 + 0.396}{3} = 0.414 \frac{g_{carbón}}{g_{concha}}$$

El rendimiento promedio del coco tierno es:

$$\frac{0.653 + 0.543}{2} = 0.598 \frac{g_{carbón}}{g_{concha}}$$

Ensayo para determinar la variedad de coco (precursor) para obtener el carbón activado artesanal

El rendimiento promedio para la variedad Alto del Pacífico es:

$$\frac{0.380 + 0.435}{2} = 0.408 \frac{g_{carbón}}{g_{concha}}$$

El rendimiento promedio para la variedad enano malasino es:

$$\frac{0.378 + 0.413}{2} = 0.400 \frac{g_{carbón}}{g_{concha}}$$

Activación del carbón a nivel de laboratorio

El rendimiento de activación es el siguiente:

Para 700°C: 0.939

Para 800°C: 0.959

$$\frac{7.393 \text{ gdecarbon}_{\text{ activado}}}{7.877 \text{ gdecarbón}} = .939$$

$$\frac{6.793 \text{ gdecarbón}_{\text{ activado}}}{7.083 \text{ gdecarbón}} = 0.959$$

El rendimiento de carbonización por cantidad de combustible utilizado es el siguiente:

$$\frac{6.33 \text{ lbcarbón}}{145 \text{ bleña}} = \frac{0.044 \text{ lbcarbón}}{\text{bleña}}$$

CAPÍTULO IX

$$S = X_m N_o a \quad [1]$$

$$X_m = 1/(\text{Pendiente} + \text{intercepto}) \quad [3]$$

Para calcular concentraciones finales de azul de metileno a partir de la ecuación linealizada de la curva de calibración del azul de metileno, para la perlita:

Ejemplo de cálculo:

$$x = \frac{y - 99.113}{-5.6193} = \frac{45.550 - 99.113}{-5.6193} = 9.532$$

Calculando el valor de X_m mediante la ecuación [3]:

$$X_m = 1/(\text{pendiente} + \text{intercepto})$$

$$\text{Intercepto: } 9741.8$$

$$\text{Pendiente: } -9449$$

$$X_m = 1/(9741.8 - 9449)$$

$$X_m = 0.0034$$

Ahora con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación [1]:

$$S = X_m N_o a$$

$$S = (0.0034)(6.23 \times 10^{23})(25 \text{ A}^2)(1 \times 10^{-10} \text{ m/1A})^2$$

$$S = 529.55 \text{ m}^2/\text{g}$$

Para calcular concentraciones finales de azul de metileno a partir de la ecuación linealizada de la curva de calibración del azul de metileno, para el carbón activado artesanal:

Ejemplo de cálculo:

$$x = \frac{y - 99.113}{-5.6193} = \frac{44.89 - 99.113}{-5.6193} = 9.65$$

Ahora con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación [3]:

Ejemplo de cálculo:

$$X_m = 1 / (\text{pendiente} + \text{intercepto})$$

Intercepto: -3913.7

Pendiente: 4864.5

$$X_m = 1 / (4864.5 - 3913.7)$$

$$X_m = 0.0011$$

Ahora con el dato de X_m , se puede calcular el valor de S , según la ecuación [1]:

$$S = X_m \cdot N \cdot a$$

$$S = (0.0011)(6.23 \times 10^{23})(25A^2)(1 \times 10^{-10} \text{m} / 1A)^2$$

$$S = 171.325 \text{ m}^2/\text{g}$$

CAPITULO XII

Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes en columnas de adsorción.

Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{REMOCIÓN} = \left(\frac{C_a - C_e}{C_a} \right) * 100$$

Donde C_a = Concentración del afluente

C_e = Concentración del efluente

De la gráfica 11.3 se obtiene el dato que a $V=10$ litros $C_e= 0.6$ mg/L

De anexo 8, $C_a= 2.6$ mg/L

Sustituyendo en la ecuación anterior se tiene

$$\% \text{REMOCIÓN} = \left(\frac{2.6 - 0.6}{2.6} \right) * 100$$

$$\% \text{REMOCIÓN} = 76.92\%$$

Dato que se refleja en la gráfica 12.1

Cálculo para onda de adsorción, isoterma de adsorción punto de quiebre.

Datos para la elaboración de las gráficas.

CLORUROS		
CONC. (ppm)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN (Litros)
147.5	0	0
0.712	1.5	2
0.0089	18	8

Fuente: Propia

Para la determinación de El volumen de la gráfica, se suma el volumen inicial + el volumen siguiente, es decir se calculo un volumen acumulado.

Los gramos de cloruros adsorbidos se calcula con la siguiente ecuación:

$$g_{\text{ADSORBIDOS}} = (C_a - C_e) * \text{Vacumulado}$$

Donde C_a = Concentración del afluente

C_e = Concentración del efluente

Para este caso la cantidad de adsorbente utilizado fue:7070.7 g de material de perlita e.

C/Co se calcula dividiendo la concentración de salida/ Concentración de entrada es decir

$$C / Co = \frac{C_e}{C_a}$$

Donde C_a = Concentración del afluente

C_e = Concentración del efluente

ONDA DE ADSORCIÓN		CURVA DE RUPTURA		ISOTERMA DE ADSORCIÓN	
CONC. (ppm)	VOLUMEN (Litros)	C/Co	TIEMPO (Horas)	g ADSORBIDOS/ g DE ADSORBENTE	CONC. (ppm)
147.5	0	4.83E-3	1.5	0	147.5
0.712	2	6.00E-2	18	2.06E-4	0.712
0.89	10	0.472E-2	20	3.91E-4	0.89

Fuente: Propia

Posterior a la construcción de cada una de las gráficas, estas se linealizan para obtener la ecuación que mejor se ajusta, para posteriormente determinar el punto de quiebre y saturación.