

REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S



**CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y
MODIFICACIONES A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA
S.A.S.
(1736)**

CONTRATO 966568

**CAPITULO 3
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO**

**CAPÍTULO 3.2.7 HIDROGEOLOGÍA
VERSIÓN 0**

Bogotá D.C., noviembre de 2019

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones
0			Versión final
B	Documento en general	11-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas
A	Documento en general	10-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Número de revisión		0
Responsable por elaboración	Nombre	Carlos Guerrero
	Firma	
Responsable por revisión	Nombre	Katherine Martínez
Coordinador Proyecto	Firma	
Responsable por aprobación	Nombre	Mónica Pescador
Gerente de Proyecto	Firma	
	Fecha	Noviembre de 2019

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.7 HIDROGEOLOGÍA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO	1
3.2 MEDIO ABIÓTICO	1
3.2.7 Hidrogeología.....	1
3.2.7.1 Unidades hidrogeológicas.....	2
3.2.7.2 Inventario de aguas subterráneas	5
3.2.7.3 Red de monitoreo Refinería de Cartagena	6
3.2.7.4 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas ..	8
3.2.7.5 Zonas de recarga y descarga	66
3.2.7.6 Direcciones de flujo.....	69
3.2.7.7 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación	71

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.7 HIDROGEOLOGÍA

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3.1 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia	2
Tabla 3.2 Puntos de monitoreo de aguas subterráneas dentro de la Refinería de Cartagena	6
Tabla 3.3 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017y 2018, piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	10
Tabla 3.4 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95	14
Tabla 3.5 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92	18
Tabla 3.6 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98	22
Tabla 3.7 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85	26
Tabla 3.8 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77	30
Tabla 3.9 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86	34
Tabla 3.10 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-79, PM-78, PM-80 y PM-81	38
Tabla 3.11 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103	42
Tabla 3.12 Variables y evaluación de zonas de recarga	66
Tabla 3.13 Propiedades geo hidráulicas empleadas	70
Tabla 3.14 Valoraciones parámetros método GOD	72
Tabla 3.15 Distribución del Parámetro “G” en el área de influencia	73
Tabla 3.16 Valor de parámetro “O” asignado	74
Tabla 3.17 Valor del parámetro “D” asignados	74
Tabla 3.18 Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas Acuíferos	75

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.7 HIDROGEOLOGÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1 Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia	5
Figura 3.2 Distribución espacial de la red de monitoreo de aguas subterráneas de la refinería de Cartagena	7
Figura 3.3 Variación pH piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	12
Figura 3.4 Variación Coliformes totales piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	12
Figura 3.5 Variación Sulfatos piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	13
Figura 3.6 Variación Cobre piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	13
Figura 3.7 Variación pH piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95	16
Figura 3.8 Variación Coliformes totales piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95	16
Figura 3.9 Variación Sulfatos piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95	17
Figura 3.10 Variación Cobre piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101	17
Figura 3.11 Variación pH piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92	20
Figura 3.12 Variación Coliformes totales piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92	20
Figura 3.13 Variación Sulfatos piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92	21
Figura 3.14 Variación Cobre piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92	21
Figura 3.15 Variación pH piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98	24
Figura 3.16 Variación Coliformes totales piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98	24
Figura 3.17 Variación Sulfatos piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98	25
Figura 3.18 Variación Cobre piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98	25
Figura 3.19 Variación pH piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85	28
Figura 3.20 Variación Coliformes totales piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85	28
Figura 3.21 Variación Sulfatos piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85	29
Figura 3.22 Variación Cobre piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85	29
Figura 3.23 Variación pH piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77	32
Figura 3.24 Variación Coliformes totales piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77	32
Figura 3.25 Variación Sulfatos piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77	33
Figura 3.26 Variación Cobre piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77	33
Figura 3.27 Variación pH piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86	36
Figura 3.28 Variación Coliformes totales piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86	36
Figura 3.29 Variación Sulfatos piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86	37
Figura 3.30 Variación Cobre piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86	37
Figura 3.31 Variación pH piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81	40
Figura 3.32 Variación Coliformes totales piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81	40
Figura 3.33 Variación Sulfatos piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81	41
Figura 3.34 Variación Cobre piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81	41
Figura 3.35 Variación pH piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103	44
Figura 3.36 Variación Coliformes totales piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103	44
Figura 3.37 Variación Sulfatos piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103	45
Figura 3.38 Variación Cobre piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103	45

Figura 3.4 Pluma contaminante año 2009	47
Figura 3.5 Pluma contaminante año 2010	47
Figura 3.6 Pluma contaminante noviembre de 2010	48
Figura 3.7 Pluma contaminante 25 de abril de 2011	49
Figura 3.8 Pluma contaminante 30 de mayo de 2011	49
Figura 3.9 Pluma contaminante 20 de junio de 2011	50
Figura 3.10 Pluma contaminante 18 de julio de 2011	50
Figura 3.11 Pluma contaminante 29 de agosto de 2011	51
Figura 3.12 Pluma contaminante 19 de diciembre de 2011	51
Figura 3.13 Pluma contaminante 24 de enero de 2012	52
Figura 3.14 Pluma contaminante 25 de junio de 2012	52
Figura 3.15 Pluma contaminante 19 de noviembre de 2012	53
Figura 3.16 Pluma contaminante 17 de diciembre de 2012	53
Figura 3.17 Pluma contaminante 14 de enero de 2013	54
Figura 3.18 Pluma contaminante 8 de julio de 2013	54
Figura 3.19 Pluma contaminante 20 de noviembre de 2013	55
Figura 3.20 Pluma contaminante 23 de diciembre de 2013	55
Figura 3.21 Pluma contaminante 14 de enero de 2014	56
Figura 3.22 Pluma contaminante 11 de febrero de 2014	56
Figura 3.23 Pluma contaminante 11 de marzo de 2014	57
Figura 3.24 Pluma contaminante 09 de abril de 2014	57
Figura 3.25 Pluma contaminante 13 de mayo de 2014	58
Figura 3.26 Pluma contaminante 10 de junio de 2014	58
Figura 3.27 Pluma contaminante 15 de julio de 2014	59
Figura 3.28 Pluma contaminante agosto de 2014	59
Figura 3.29 Pluma contaminante 9 de septiembre de 2014	60
Figura 3.30 Pluma contaminante 7 de octubre de 2014	60
Figura 3.31 Pluma contaminante noviembre de 2014	61
Figura 3.32 Pluma contaminante 11 de diciembre de 2014	61
Figura 3.33 Pluma contaminante 24 de marzo de 2015	62
Figura 3.34 Pluma contaminante 22 de junio de 2015	62
Figura 3.35 Pluma contaminante 21 de septiembre de 2015	63
Figura 3.36 Pluma contaminante 21 de diciembre de 2015	63
Figura 3.37 Pluma contaminante 22 de marzo de 2016	64
Figura 3.38 Pluma contaminante 20 de junio de 2016	64
Figura 3.39 Pluma contaminante 19 de septiembre de 2016	65
Figura 3.40 Pluma contaminante 19 de diciembre de 2016	65
Figura 3.41 Comportamiento histórico de la pluma contaminante	66
Figura 3.42 Distribución espacial de las zonas de recarga potenciales para el área de influencia	68
Figura 3.43 Porcentajes de recarga potencial en el área de influencia	69
Figura 3.44 Resultados en planta en estado estacionario	70
Figura 3.45 Corte transversal del área de influencia	71
Figura 3.46 Porcentajes de vulnerabilidad a la contaminación de Acuíferos en el área de influencia	76
Figura 3.47 Mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para el área de influencia	76

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA
AMBIENTAL DE REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S**

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

CAPÍTULO 3.2.7 HIDROGEOLOGÍA

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 Piezómetro tipo de la refinería de Cartagena

Pág.
8

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.7 Hidrogeología

El objetivo principal de la caracterización hidrogeológica es evaluar el potencial hidrogeológico de las rocas y sedimentos presentes en el área de estudio para almacenar y transmitir agua, la productividad de los acuíferos, la posible afectación de los acuíferos a ser contaminados y describir el funcionamiento del sistema hidrogeológico de la zona de evaluación.

Teniendo en cuenta lo establecido en el Numeral 3.2.7 (Hidrogeología), del Capítulo 3 de los Términos de Referencia para la construcción y operación de refinerías y desarrollos petroquímicos que formen parte de un complejo de refinación (HI-TER-1-07), se presenta el componente hidrogeológico, en el marco de la caracterización del medio abiótico del proyecto EIA para la modificación a la licencia ambiental de Refinería de Cartagena S.A.S.

Para la elaboración del componente hidrogeológico se partió de la evaluación y cartografía geológica realizada para el presente EIA (ver ítem 3.2.1) al igual se utilizó información de geomorfología, hidrología, presentada detalladamente en los respectivos apartes del estudio.

Los análisis y resultados de este elemento del estudio son apoyados en la información generada de estudios hidrogeológicos previos como el estudio de impacto ambiental para la modificación de la licencia ambiental del proyecto de construcción y operación de plantas nuevas en la refinería de Cartagena por adición del terminal portuario (Refinería de Cartagena S.A, 2009), e información secundaria de estudios hidrogeológicos locales y regionales realizados tanto por entidades públicas, los cuales se presentan a continuación.

- i. Estudio de Impacto ambiental Proyecto plan maestro Refinería de Cartagena, 1997.
- ii. Estudio de Impacto ambiental para la modificación de la licencia ambiental del proyecto de construcción y operación de plantas nuevas en la Refinería de Cartagena, 2008.
- iii. Estudio de impacto ambiental para la modificación de la licencia ambiental del proyecto de construcción y operación de plantas nuevas en la Refinería de Cartagena por adición del terminal portuario, 2009.
- iv. Informes y mapas producidos por el Servicio Geológico Colombiano, de los cuadrángulos o planchas geológicas 19-20 Arjona escala 1:100.000, con sus respectivas memorias descriptivas.
- v. Atlas de aguas subterráneas de Colombia plancha 5-04, INGEOMINAS, 2000.

Teniendo en cuenta la división de provincias Hidrogeológicas propuesto por la UNESCO para el Mapa Hidrogeológico de Sur América, Colombia fue dividida en 6 provincias quedando el área del Estudio de Impacto ambiental (EIA) para la modificación a la licencia

ambiental de Refinería de Cartagena S.A.S, en su totalidad en la provincia hidrogeológica costera- Vertiente Atlántica.

La provincia hidrogeológica costera- Vertiente Atlántica comprende la región costera del mar Caribe desde la frontera con Panamá al suroccidente hasta la península de la Guajira al norte, teniendo como límite occidental la Serranía de Perijá y como límite meridional las estribaciones del sistema cordillerano andino. Tiene un área cercana a los 126925 km². Está constituida en mayor proporción por rocas sedimentarias de edad terciaria de ambiente marino y por rocas ígneas y metamórficas que hacen parte del núcleo de la Sierra Nevada de Santa Marta y de los altos topográficos en la península de la Guajira (INGEOMINAS, 2003).

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y caracterización de las unidades, se realizó según la metodología de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (UNESCO, 1983); La leyenda se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada.

3.2.7.1 Unidades hidrogeológicas

En la Tabla 3.1 se encuentran la descripción de los sistemas acuíferos encontrados en el área de influencia del proyecto y su distribución espacial la podemos observar en la Figura 3.1.

Tabla 3.1 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia

Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia del proyecto de la Refinería					
Sistema de Acuífero	Características de los Acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	Área de influencia		
			(Ha)	(%)	
Sedimentos y rocas con flujo intergranular					
A1	Acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas de acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos Cuaternarios no consolidados de baja consolidación de ambiente fluvial, representan acuíferos libres. Almacena aguas dulces que requieren tratamientos para algunos usos.	Depósitos Aluviales recientes (Qalr)	3,96	1,31
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea					
C1	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio < de 0.05 l/s/m.	Complejo de sedimentos constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de origen marino y lacustre, y por rocas con muy baja productividad de edad Neógeno poco consolidadas de origen marino y continental. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, salada en las regiones costeras.	Depósitos de Llanura Costera (Qfl)	255,67	84,48
			Depósitos de Playa (Qmp)	26,25	8,67
			Depósitos de Manglar (Qmm)	11,43	3,78
			Formación Bayunca (Ngb)	2,97	0,98

Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia del proyecto de la Refinería				
Sistema de Acuífero	Características de los Acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	Área de influencia	
			(Ha)	(%)
Mar Caribe			2,35	0,78
Total			302,64	100,00

Fuente: Concol by WSP, 2019

Teniendo en cuenta esta información y las características de las unidades litológicas para conformar unidades con capacidad de almacenamiento se clasifican en los siguientes tipos:

i. Acuíferos

Unidad geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua dadas sus condiciones de permeabilidad suficientes para generar acumulaciones significativas del recurso hídrico, los acuíferos más comunes son las arenas y gravas (materiales no consolidados), pero rocas sedimentarias permeables tales como las areniscas, calizas, rocas cristalinas fracturadas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos. (Sánchez, 2012) en el área de estudio se presentan unidades acuíferas en los Depósitos Cuaternarios, están representados por los Depósitos Aluviales Recientes (Qalr), los niveles acuíferos tienen una participación del 1,31 % del área de influencia con 3,96 ha.

ii. Acuícludos

Unidad geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen. (Sánchez, 2012) En el área de influencia no se encontró unidades con estas características, pero algunas intercalaciones arcillosas de las unidades cartografiadas deben constituir acuícludos locales.

iii. Acuitardos

Unidad geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante. (Sánchez, 2012) En el área de influencia son de gran extensión está constituido por: Depósitos de Playa (Qmp), Depósitos de Llanura Costera (Qfl), Depósitos de Manglar (Qmm) y la Formación Bayunca (Ngb). Los niveles acuitardos en el área de influencia ocupan la mayor parte del terreno el 97,92% con 296,33 ha.

iv. Acuífugos

Son aquellas unidades geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación, estas se consideran unidades impermeables. (Sánchez, 2012) En el área de influencia no se encuentran rocas de esta naturaleza, por lo tanto, no

hay evidencia de acuifugos en el área.

3.2.7.1.1 Caracterización hidrogeológica del área de influencia

Los diferentes sistemas acuíferos, se clasifican por sus características de permeabilidad, porosidad, transmisividad, extensión y espesor; en general en el área de estudio se presentan rocas y sedimentos con limitados recursos subterráneos, unidades acuíferas de los Depósitos Cuaternarios y de rocas consolidadas de edad Neógeno.

- **Sedimentos y rocas con flujo intergranular**

Se definen como sedimentos y rocas con flujo intergranular a los sistemas con una porosidad que permite el flujo del recurso, por lo general se debe a su bajo grado de consolidación y el tamaño de grano, los niveles acuíferos tienen una participación del 1,31% del área de influencia con 3,96 ha.

- **Sistemas de acuíferos de Baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m**

Corresponde a sistemas acuíferos discontinuos de extensión local a semiregional, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente fluvial, que generalmente conforman acuíferos de tipo libre. Almacenan aguas que requiere tratamiento para algunos usos.

Dentro de este sistema hidrogeológico y aflorando en el área de influencia se encuentran los acuíferos de Depósitos aluviales recientes (Qalr), estos sistemas de acuíferos de baja productividad están restringidos a los cauces actuales, se comportan como libres, están compuestos por cantos, arenas y arcillas mezclados a gradados, que cubren las rocas del neógeno y los depósitos cuaternarios más antiguos.

- **Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea**

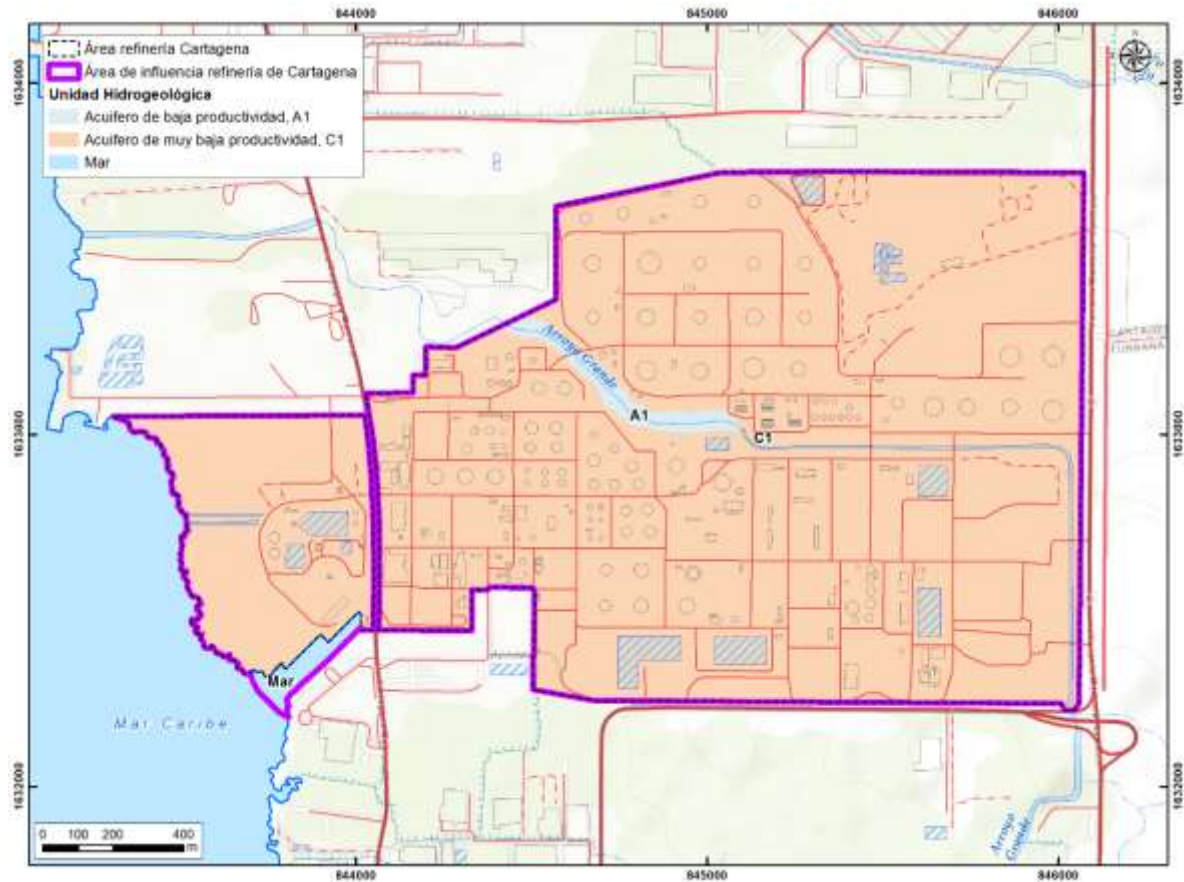
Son acuíferos con muy baja productividad, comportamiento se correlaciona al de acuitardos, por lo general son unidades sedimentarias de grano muy fino que no permiten la conductividad y carecen de propiedades permeables por su alta compactación, en el área de influencia ocupan la mayor parte de la zona con 296,33 hectáreas que representan el 97,92% del área total.

- **Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor de 0,05 l/s/m, que se comportan como acuitardos**

Corresponde a un complejo de rocas y sedimentos de baja permeabilidad, compuesto principalmente por material lutítico, de edad Neógeno y depósitos cuaternarios de origen marino y transicional, por estar compuestas principalmente por materiales arcillosos, se consideran como acuitardos, e igualmente podría conformar acuíferos de baja capacidad.

Dentro de este sistema se ubican los depósitos de playa (Qmp), depósitos de llanura costera (Qfl), depósitos de manglar (Qmm) y la Formación Bayunca (Ngb), son formaciones de carácter confinante, forman parte del basamento hidrogeológico de la zona y delimitadoras de unidades con alguna capacidad de flujo de agua, pertenecen a acuíferos con muy poca permeabilidad, de muy baja productividad, con capacidad específica promedio menor de 0,05 l/s/m, zonas de muy bajo interés hidrogeológico.

Figura 3.1 Distribución espacial de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia



Fuente: Concol By WSP, 2019

3.2.7.2 Inventario de aguas subterráneas

El inventario es un método de recopilación y análisis de los datos relacionados con la hidrogeología y que proceden de la información de usuarios de los denominados puntos de agua; se utiliza para conocer rápidamente las características hidrogeológicas de una zona dada. En sentido estricto se puede definir un punto de agua subterránea como un lugar, obra civil o circunstancia que permita un acceso directo o indirecto a un acuífero, estos pueden incluir perforaciones existentes (pozos o aljibes), también se cuentan las fuentes o surgencias naturales (manantiales).

Regionalmente el área de influencia del proyecto no tiene puntos de ocurrencia de agua subterránea aljibes, pozos o manantiales que estén siendo utilizados por la comunidad, debido a que el agua en esta zona es salobre; para consumo humano utilizan el agua de acueducto.

3.2.7.3 Red de monitoreo Refinería de Cartagena

Para determinar la red de monitoreo de la Refinería de Cartagena S.A.S para el componente de aguas subterráneas, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- i. Distribución espacial de los puntos de agua: Seleccionando puntos que abarquen el área de la refinería en cuanto a su distribución espacial, en la totalidad del área operativa de la refinería.
- ii. Unidades hidrogeológicas: los puntos se seleccionaron teniendo presente que estos se encuentren en diferentes unidades hidrogeológicas, que se encuentran en la refinería.
- iii. Direcciones de flujo: la distribución espacial de los puntos de monitoreo abarca el área de la refinería y tiene en cuenta el comportamiento hidráulico del agua subterránea, con las interconexiones que esta tiene tanto con el mar como con el arroyo grande.

Dentro del área de la refinería se encuentra una red de monitoreo de aguas subterráneas de 29 puntos que se describen en la Tabla 3.2.

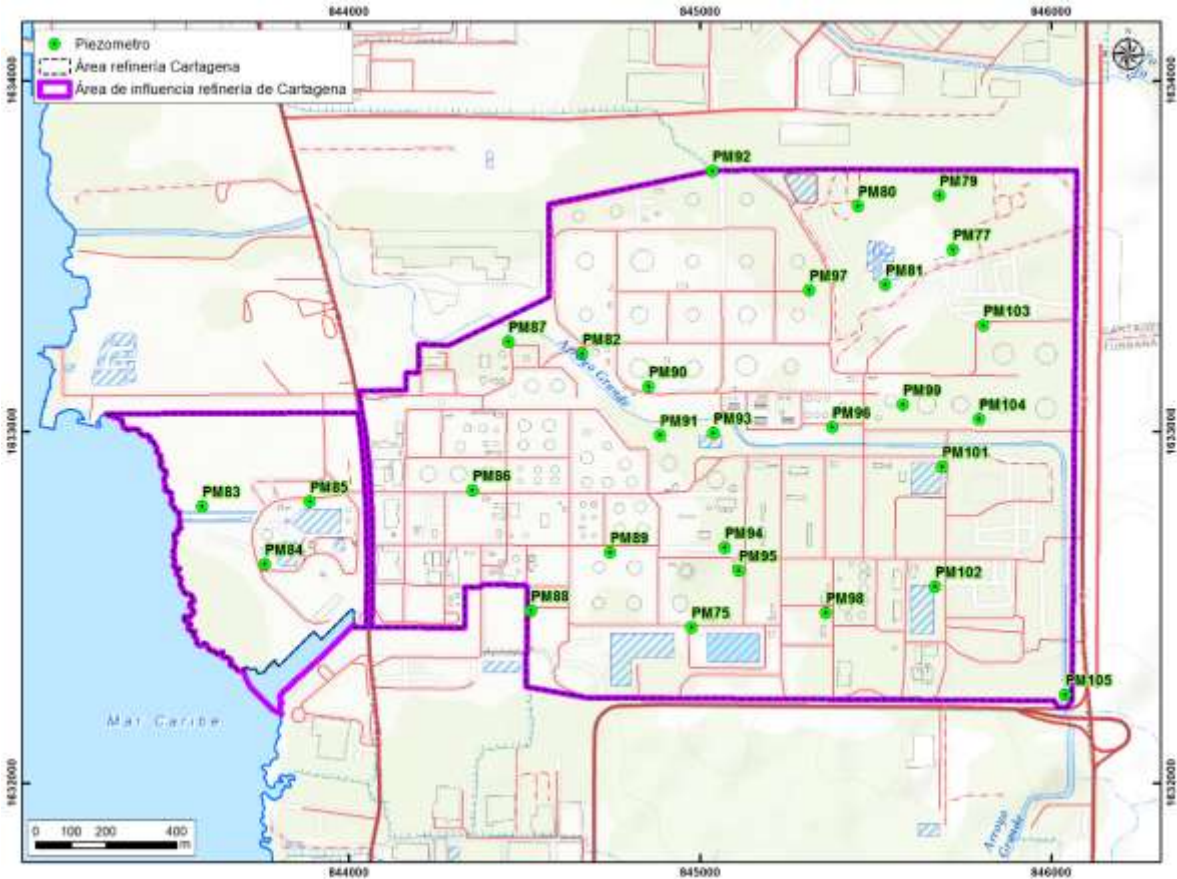
Tabla 3.2 Puntos de monitoreo de aguas subterráneas dentro de la Refinería de Cartagena

ID	Latitud	Longitud	Coordenadas Magna Sirgas Bogotá		Cota	Nivel Estático
			Este	Norte		
PM82	10,31875	-75,495556	844665,13	1633223,30	10	3,00
PM99	10,317472	-75,487222	845577,53	1633077,89	16	4,20
PM87	10,319056	-75,497472	844455,29	1633258,04	10	3,50
PM92	10,323472	-75,492194	845035,69	1633744,15	12	1,50
PM97	10,320417	-75,489667	845311,14	1633404,85	11	2,00
PM77	10,321472	-75,485944	845719,47	1633519,84	16	5,00
PM103	10,319528	-75,485139	845806,78	1633304,32	17	2,25
PM104	10,317111	-75,48525	845793,43	1633036,99	19	3,50
PM101	10,315889	-75,486194	845689,36	1632902,21	18	4,50
PM86	10,315222	-75,498389	844352,97	1632834,36	13	2,00
PM88	10,312139	-75,496861	844518,84	1632492,47	15	0,50
PM89	10,313639	-75,494806	844744,80	1632657,44	17	2,00
PM75	10,320856	-75,486417	844975,16	1632444,35	13	2,00
PM78	10,317638	-75,49722	845731,02	1633584,33	13	0,80
PM95	10,313194	-75,491472	845109,79	1632606,65	16	2,00
PM94	10,313778	-75,491833	845070,51	1632671,36	16	3,00
PM98	10,312111	-75,489194	845358,83	1632485,68	17	2,50
PM102	10,312806	-75,486361	845669,60	1632561,15	20	4,20
PM105	10,310028	-75,482972	846039,55	1632252,18	18	4,30
PM96	10,316889	-75,489056	845376,38	1633014,24	16	5,00

ID	Latitud	Longitud	Coordenadas Magna Sirgas Bogotá		Cota	Nivel Estático
			Este	Norte		
PM93	10,316722	-75,492139	845038,48	1632997,29	13	5,00
PM91	10,316667	-75,493528	844886,28	1632991,82	15	4,50
PM90	10,317917	-75,493833	844853,41	1633130,27	13	4,00
PM84	10,313306	-75,503778	843761,60	1632624,93	4	3,00
PM83	10,314778	-75,505417	843582,76	1632788,62	3	2,00
PM85	10,314917	-75,502611	843890,22	1632802,61	2	3,00
PM81	10,320556	-75,487694	845527,29	1633419,27	14	1,10
PM79	10,322861	-75,486306	845680,58	1633673,68	22	1,80
PM80	10,322583	-75,488417	845449,15	1633643,97	23	2,00

Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.2 Distribución espacial de la red de monitoreo de aguas subterráneas de la refinería de Cartagena



Fuente: Concol By WSP; 2019

Fotografía 3.1 Piezómetro tipo de la refinería de Cartagena



Coordenadas: (PM 83 Este: 843582,76 Norte: 1632788,62)

Fuente: Concol By WSP, 2019

3.2.7.4 Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas

La calidad del agua subterránea depende de la mineralogía y el grado de solubilidad de los sedimentos o rocas que conforman el acuífero, de su tiempo de residencia en la roca, del área de contacto agua-roca y de la mezcla con agua de otros acuíferos o de la presencia de cargas de contaminantes que pueden alterar su calidad natural.

Una vez al agua entra en contacto con los sedimentos y las rocas, va adquiriendo sales. Este enriquecimiento en sales del agua subterránea estará controlado por la composición mineralógica de los sedimentos y las rocas, así como de la solubilidad de las sales; siendo por su solubilidad el carbonato de calcio, el carbonato de magnesio, el cloruro de sodio y el sulfato de magnesio, las que se encuentran generalmente en el agua subterránea.

Con el objeto de establecer la potabilidad del agua subterránea se realizan análisis bacteriológicos e hidroquímicos. Estos análisis contribuyen de igual manera a conocer las propiedades hidrogeoquímicas del agua en cada uno de los acuíferos presentes.

Para el presente, se utiliza la información del “Informe de análisis de resultados del históricos de monitoreos de Aguas subterráneas de la nueva configuración de la refinería de Cartagena SAS comparados con la línea base presentada en el EIA, (ECOPETROL, S.A., 2018)

Los parámetros que se utilizan para la caracterización química del agua subterránea incluyen aceites y grasas, alcalinidad total, benceno, tolueno, xileno y etilbenceno (BTEX), cobre, coliformes totales, conductividad, cromo, demanda química de oxígeno, escherichia coli, fenoles, hidrocarburos totales, mercurio, mesófilos, níquel, nivel estático, oxígeno disuelto, ph, plomo, profundidad, selenio, solidos disueltos totales, sólidos

suspendidos totales, sólidos totales, sulfatos, temperatura y fenoles totales. De la Tabla 3.3 a la Tabla 3.11, se observan los resultados de los monitoreos para las campañas del año 2016, 2017 y 2018.

Es importante tener en cuenta que el análisis de la información se realiza teniendo como principal objetivo presentar el comportamiento de la calidad del agua subterránea durante los monitoreos realizados en el año 2016, 2017 y 2018. Los parámetros en los cuales se enfocó el análisis corresponden a DBO, BTEX, Grasas y aceites, Hidrocarburos Totales y Coliformes Totales, dado que son compuestos asociados directamente a las actividades industriales realizadas en la refinería, adicionalmente la temperatura y el pH ya que son parámetros que juegan un papel muy importante en la actividad microbiana y están involucrados en todos los procesos de tratamiento de aguas, y se observan las variaciones del nivel estático.

Para más información sobre los monitoreos ver Anexo 3 Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos Abióticos, Cap. 3.2.7 Hidrogeología.

Tabla 3.3 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 104			PM - 96			PM - 101			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO3	464,86	2,73	525	370,54	2,4	684	384,01	6,22	667	N.E	N.E	N.E
BTEX.	mg/L	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0,10	30	<0,100	<0,10	<20	<0,100	<0,10	28	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	60	<0,05	64	40	<0,05	740	30	<0,05	450	20000	1000	5000
Conductividad	µS/cm	756	6775	7560	6230	4625	2117	8370	14885	14020	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO.	mg/L de O2	406,2	4500	<32,0	<32,0	3300	215	175,9	11420	35,2	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	10	2489	3	10	1450	<1	<1	2723	10	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0,0023	<0,05	<0,001	<0,0023	<0,05	0,00278	<0,0023	<0,05	<0,001	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	500	18,5	100	80	183	188	90	16,3	69	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	3,2	3,05	3,5	2,35	4,12	5	3,6	7,1	4,5	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O2	0,8	4,12	5,5	5,66	5,01	2,9	3,86	3,94	3,2	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,15	6,7	6,97	7,34	7,15	6,71	7,10	6,7	6,65	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	5,5	5,5	5,5	5,91	5,91	5,91	5,7	5,7	5,7	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
Sólidos disueltos totales	mg de SDT/L	2655,3	2810	295	2809,5	2060	492	3861,5	3740	1212	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de SST	214,7	3380	27,8	36,3	2335	281	94,5	8070	79,1	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	2870,0	900	3133	2845,7	863	795	3956,0	3320	1309	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO42-	282,8	312	807	272,7	389	1547	45,2	336	1385	400	400	N.E
Temperatura **	°C	32,5	32,45	31,4	32,4	29,1	32,6	32,8	31,75	32,2	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

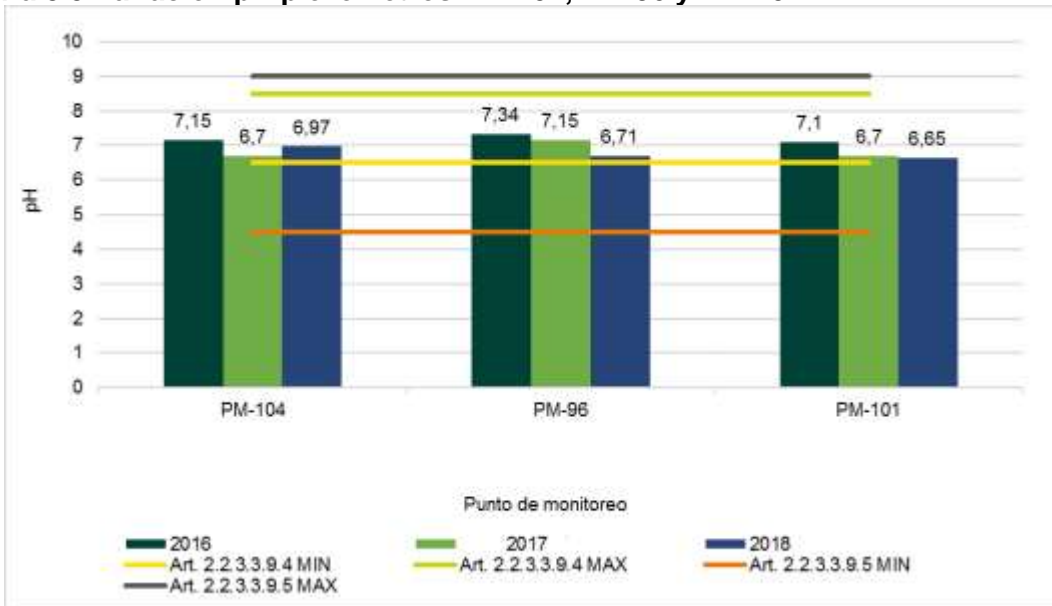
Para el piezómetro PM -104 según la tabla se puede observar que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH es neutro con tendencia a básico y la temperatura no tiene variaciones significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 406,2 a 4500 mg/l y para el año 2018 se encuentra en <32 mg/l. El nivel estático vario 0,45 m entre los monitoreos, esta variación se debe a la época en la que se tomó el muestreo. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados. El único parámetro fuera de los límites establecidos por la normatividad corresponde al Cobre con una medición para el 2017 de 30 mg/L de Cu, aspecto que restringe su uso para consumo humano y doméstico y, uso agrícola.

Para el piezómetro PM -96 según la tabla se puede observar que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH se mantiene en valores entre 6,71 y 7,34, la temperatura en aguas subterráneas es importante para el control del quimismo en las mismas, influyendo en la solubilidad de algunas sustancias inmersas en ella tiene una variación, pero ambos valores se encuentran dentro del rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos, y respondiendo de manera natural a las condiciones climáticas de la zona y a las características de las aguas subterráneas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 30,2 a 3300 mg/l y luego disminución a 215 mg/l para el año 2018. El nivel estático vario 2,65 m entre los monitoreos, esta variación se debe a la época en la que se tomó el muestreo. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

Para el piezómetro PM -101 se observa que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH es neutro con tendencia a básico y la temperatura no tiene variaciones significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 175,9 a 11420 mg/l y luego disminución significativa para el año 2018. El nivel estático vario 3,5 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados. El único parámetro fuera de los límites establecidos por la normatividad corresponde al Cobre con una medición para el 2017 de 28 mg/L de Cu, aspecto que restringe su uso para consumo humano y doméstico y, uso agrícola.

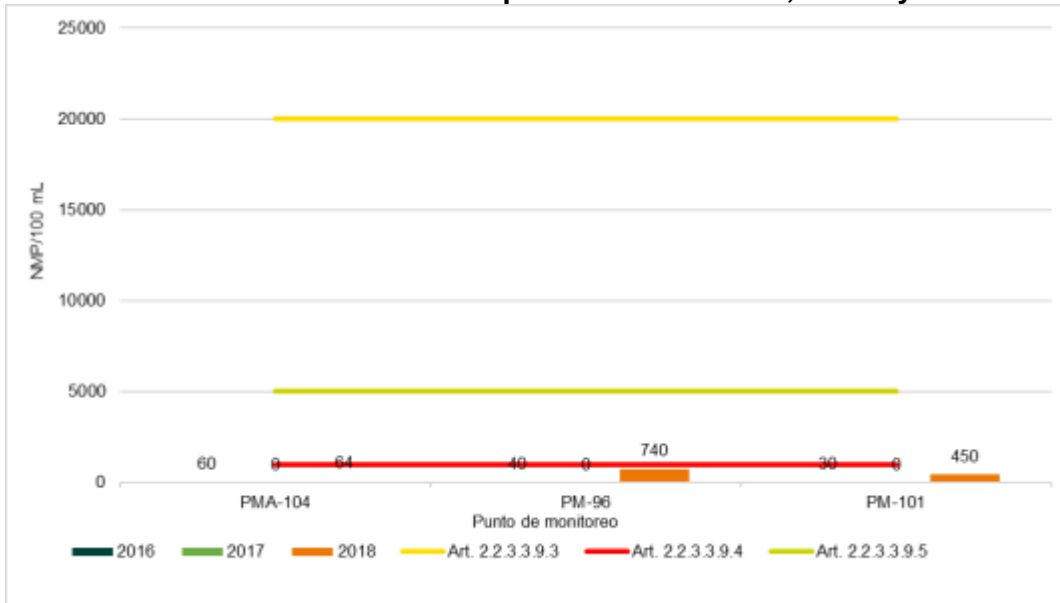
En la Figura 3.3 a la Figura 3.6 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y Cobre para los piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.3 Variación pH piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101



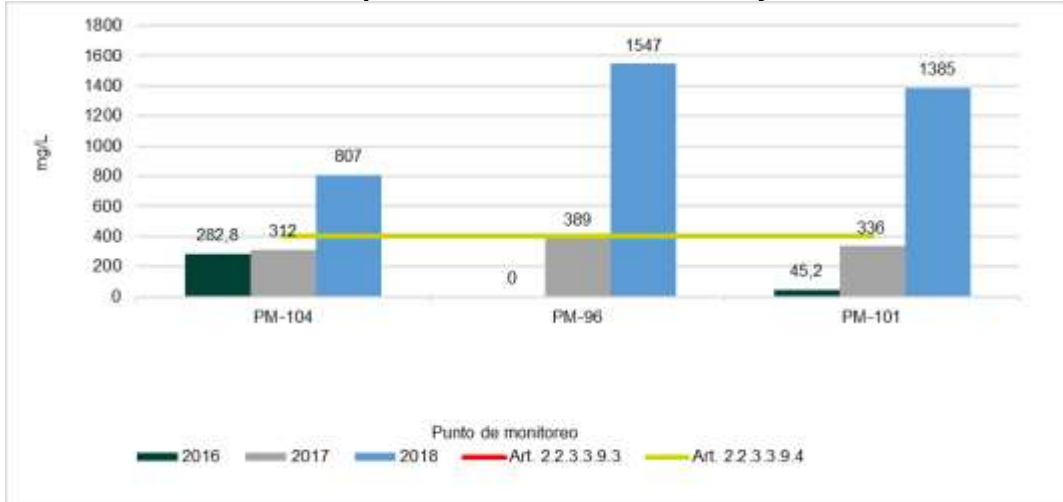
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.4 Variación Coliformes totales piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101



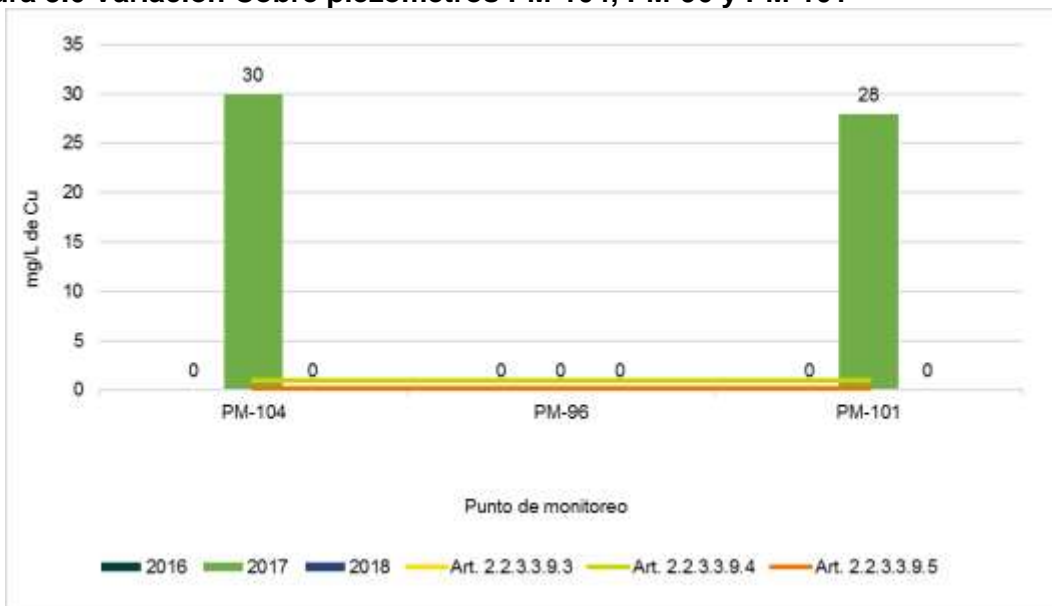
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.5 Variación Sulfatos piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.6 Variación Cobre piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.4 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 91			PM - 94			PM - 95			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	505,28	4,55	616	268,36	3,1	124	505,28	2,9	712	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0.10	36	<0,100	<0.10	<20	<0,100	<0.10	<20	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	40	<0,05	290	4	<0,05	<1	40	<0,05	1240	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	1669	2850	4060	1065	3895	2010	2730	6665	18820	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
Demanda química de oxígeno	mg/L de O ₂	87.3	3100	<32,0	<32.0	3000	<32,0	<32.0	5250	60,2	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	2359	<1	<1	1146	<1	<1	1722	<1	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0.0023	<0,05	<0,001	<0.0023	<0,05	<0,001	<0.0023	<0,05	0,0065	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	110	119	101	40	73	27	100	84	3	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0.06	<0,15	<0,100	<0.06	<0,15	<0,100	<0.06	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	3,4	5,1	4,5	1,85	3,4	3	1,77	3,1	2	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	1.90	3,87	2,5	5,66	4,15	2,9	3,76	3,78	3,3	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,35	6,9	6,8	7,99	7	8,4	7,50	6,7	6,55	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	5,92	5,92	5,92	5,89	5,89	5,89	5,75	5,75	5,75	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
Sólidos disueltos totales	mg de SDT/L	2416.1	1090	1247	1695.3	<1570	754	2564.3	2540	1327	N.E	N.E	N.E
Sólidos suspendidos totales	mg/L de SST	142.9	1505	377	34.8	1940	65,5	135.7	3325	329	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	2559.0	1444	1624	1730.0	820	827	2700.0	1600	1804	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	272.7	278,6	1158	78,5	357	844	83,1	391	2524	400	400	N.E
Temperatura **	°C	34,3	31	33,6	33,5	30,9	32	32,3	30,85	31,3	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

Para el piezómetro PM -91 según la tabla se puede observar que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,8 y 7,35 cumpliendo con la normativa y la temperatura no tiene variaciones significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 87,3 a 3100 mg/l, sin embargo, para el 2018 se encuentra < 32 mg/l. El nivel estático vario 1,5 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados. El único parámetro fuera de los límites establecidos por la normatividad corresponde al Cobre con una medición para el 2017 de 36 mg/L de Cu, aspecto que restringe su uso para consumo humano y doméstico y, uso agrícola.

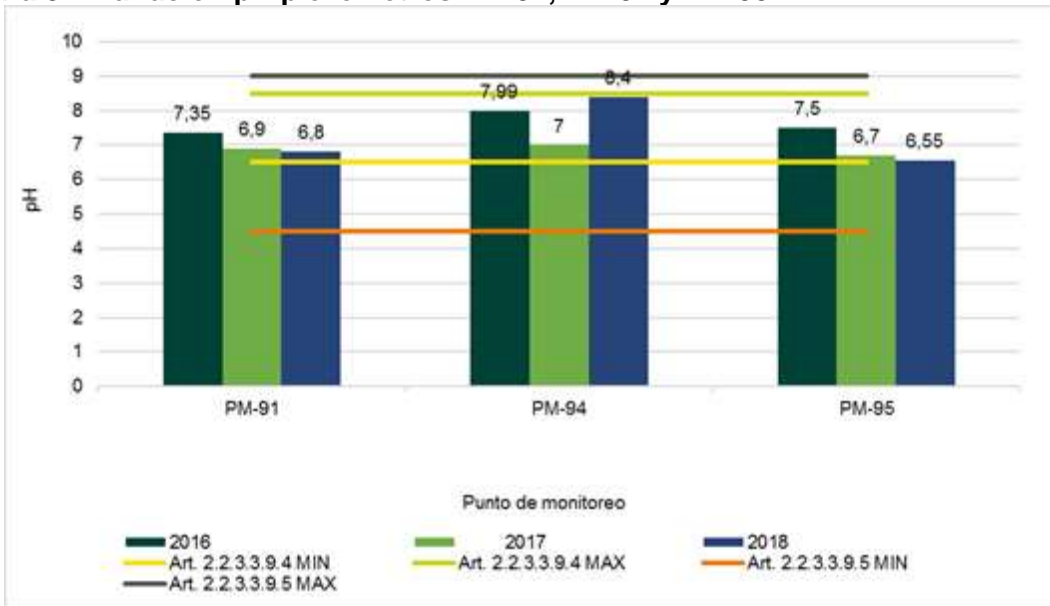
Para el piezómetro PM -94 se observa que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 7 y 8,4 ambos casos cumplen con la normativa y la temperatura no tiene variaciones significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 32 a 3000 mg/l y vuelve a disminuir a <32 en el año 2018. El nivel estático vario 1,55 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

Para el piezómetro PM -95 según la tabla se puede observar que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,55 y 7,5 cumpliendo con la normativa y la temperatura no tiene variaciones significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un aumento considerable entre la toma de muestras del año 2016 y el año 2017 pasando de 32 a 5250 mg/l, sin embargo, para el 2018 disminuye a 60,2 mg/l. El nivel estático vario 1,33 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años 2016 y 2017, para el año 2018 se encuentra fuera del rango para Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Las muestras de agua en los piezómetros PM-94 y PM-95 muestran aumentan significativos de sulfatos, los cuales presentan valores por encima de la normatividad para uso humano y doméstico.

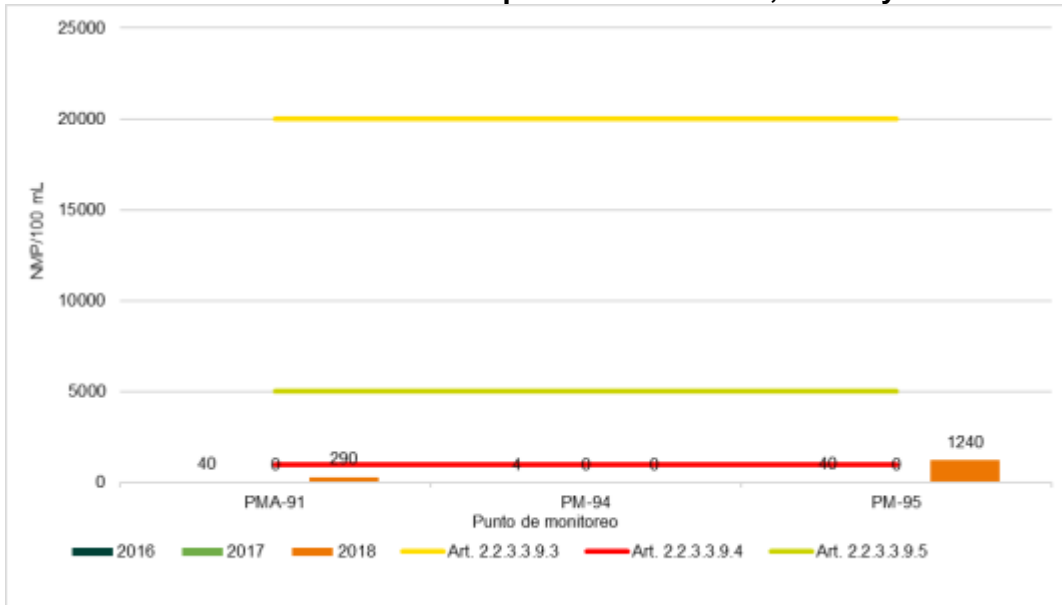
En la Figura 3.7 a la Figura 3.10 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y Cobre para los piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.7 Variación pH piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95



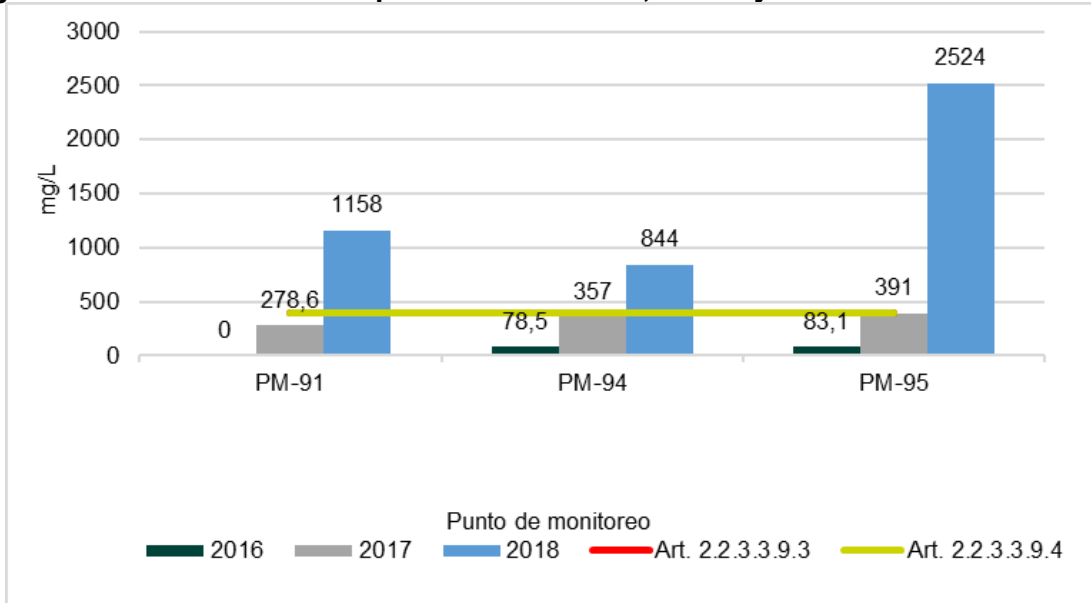
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.8 Variación Coliformes totales piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95



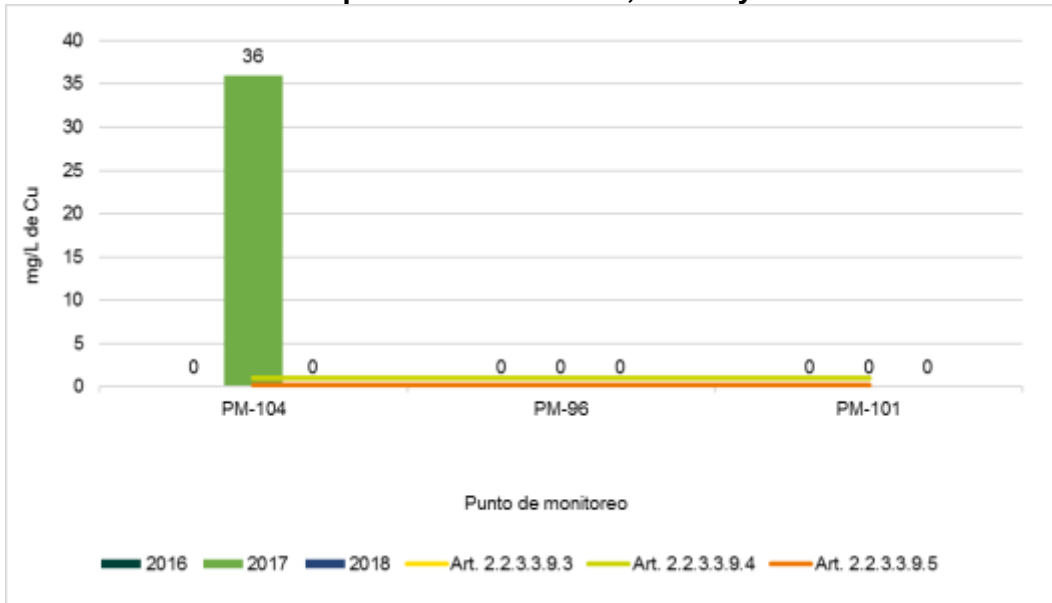
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.9 Variación Sulfatos piezómetros PM-91, PM-94 y PM-95



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.10 Variación Cobre piezómetros PM-104, PM-96 y PM-101



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.5 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 90			PM - 97			PM - 92			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	640,02	5,07	1384	507,53	2,54	859	212,22	2,92	283	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0.10	85	<0,100	<0.10	29	<0,100	<0.10	24	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	60	<0,05	400	100	<0,05	20	40	<0,05	112	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	2250	4370	4015	99.7	6615	8800	432	800	700	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	90.0	6500	54,7	188.9	5200	53	34.3	970	66,4	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	1259	10	10	2589	<1	<1	1815	3	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0.0023	<0,05	0,00134	<0.0023	<0,05	0,00167	<0.0023	<0,05	0,00144	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	110	85	45	130	17,6	7	90	12,1	144	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0.06	<0,15	<0,100	<0.06	<0,15	<0,100	<0.06	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	3,74	5,25	4	1,22	3,2	2	0,79	3,15	1,5	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	1.80	3,45	2,9	3,21	4,52	3,5	3.26	4,12	5,5	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,65	6,6	6,59	7,27	6,9	6,74	8,10	7,35	7,34	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	5,87	5,87	5,87	4	4	4	5,36	5,36	5,36	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
Sólidos disueltos totales	mg de SDT/L	2005.3	2060	4641	3855.6	3130	1329	473.5	84	640	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	174.8	2403	2600	148.4	3255	444	34.5	395	63	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	2180.0	3915	7284	4004.0	1700	1857	508.0	500	753	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	82.7	508,9	2535	51.0	405	1080	87.2	257	301	400	400	N.E
Temperatura **	°C	33,2	32	31,7	31,3	29,35	30	30,9	29,95	33,1	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

Para el piezómetro PM -90 según la tabla se puede observar que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,59 y 7,27 cumpliendo con la normativa y la temperatura se encuentra entre 31,7 y 33,2°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 54,7 y 6500 mg/l de O₂. El nivel estático vario 1,5 m debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados.

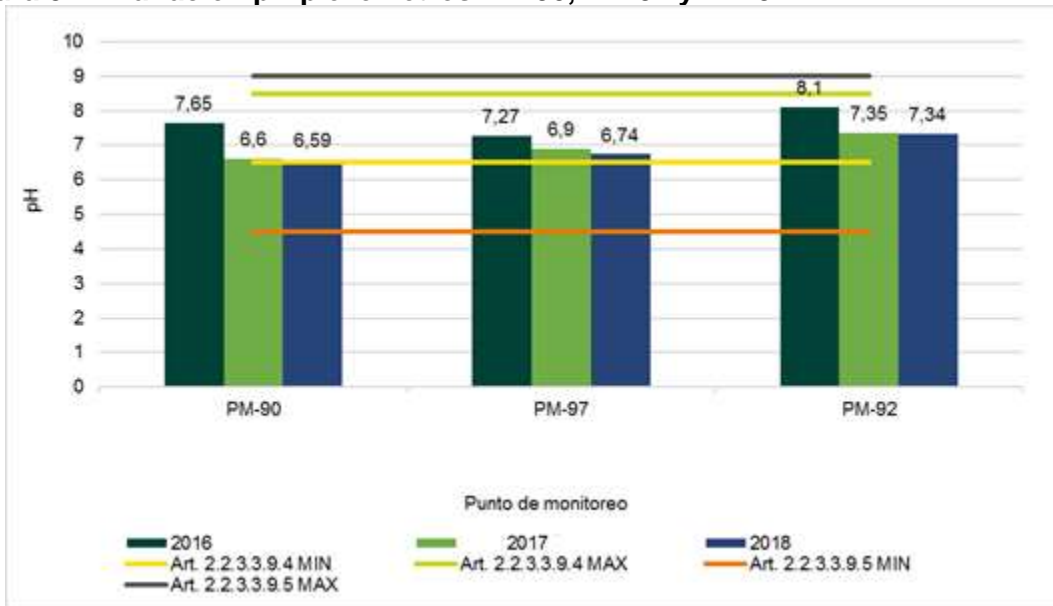
Para el piezómetro PM -97 se puede observar en la tabla que los aceites y no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,74 y 7,27 ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 29,35 y 31,3°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 53 y 5200 mg/l de O₂. El nivel estático vario 1,98 m esta variación se puede asociar a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

Para el piezómetro PM -92 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 7,34 y 8,1, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 29,95 y 33,1°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 34,3 y 970 mg/l de O₂. El nivel estático vario 2,36 m esta variación se puede presentar dada la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

Para los tres piezómetros en análisis (PM-90, PM-97 y PM-92) se presentan concentraciones por encima de los límites establecidos por la normatividad con mediciones de 85. 29 y 24 mg/L para el Cobre, para el caso de Sulfatos, los piezómetros PM-90 y PM-97 presentan mediciones de 508,9, 405 mg/L (2017) y 1080 mg/L (2018) respectivamente, aspecto que restringe el uso del recurso para consumo humano y doméstico.

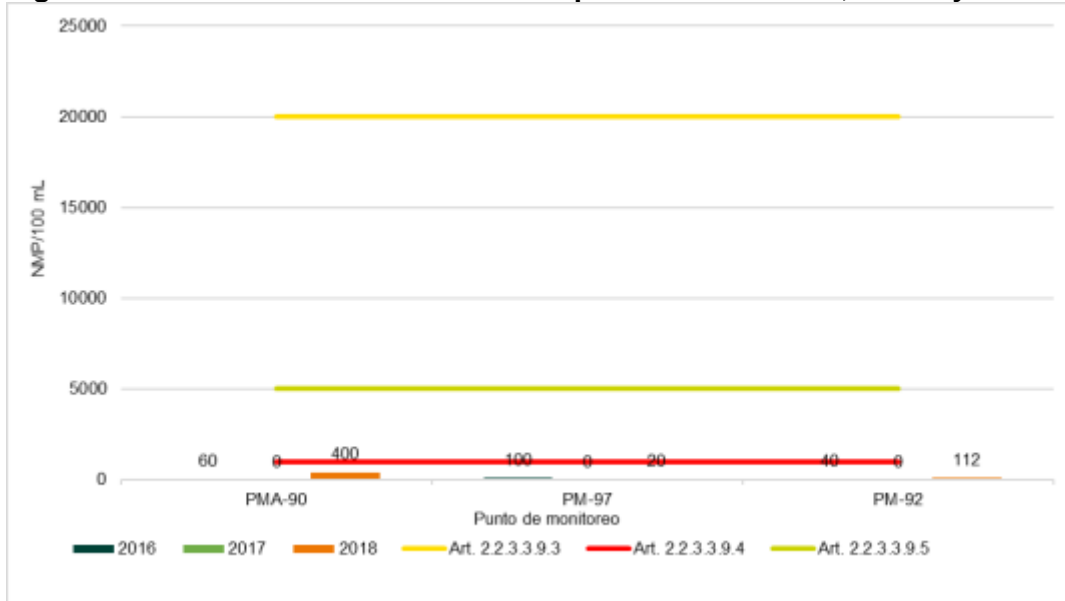
En la Figura 3.11 a la Figura 3.14 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.11 Variación pH piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92



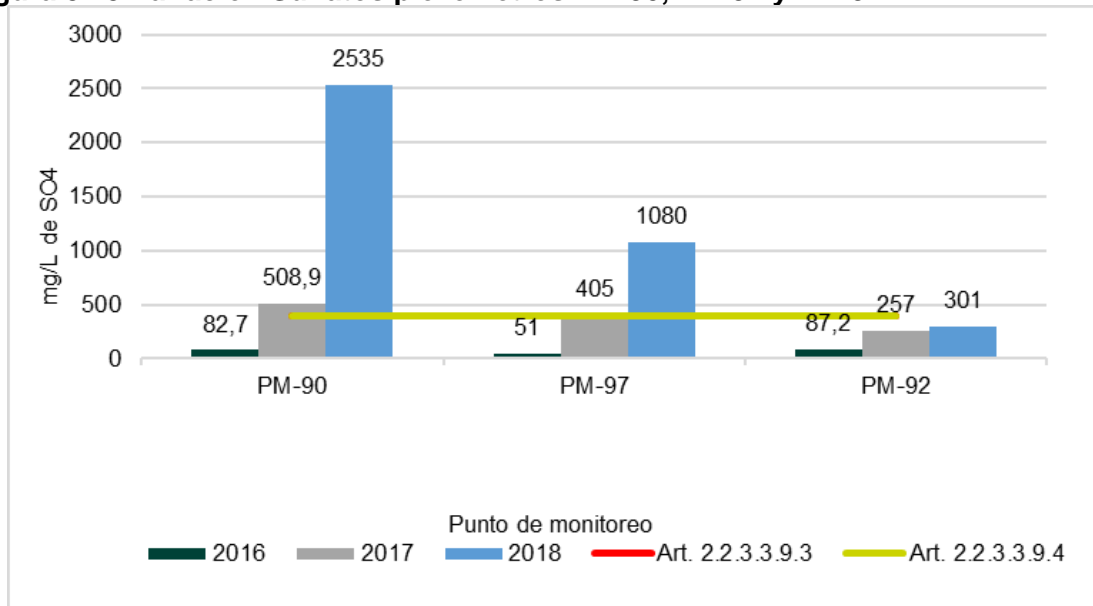
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.12 Variación Coliformes totales piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92



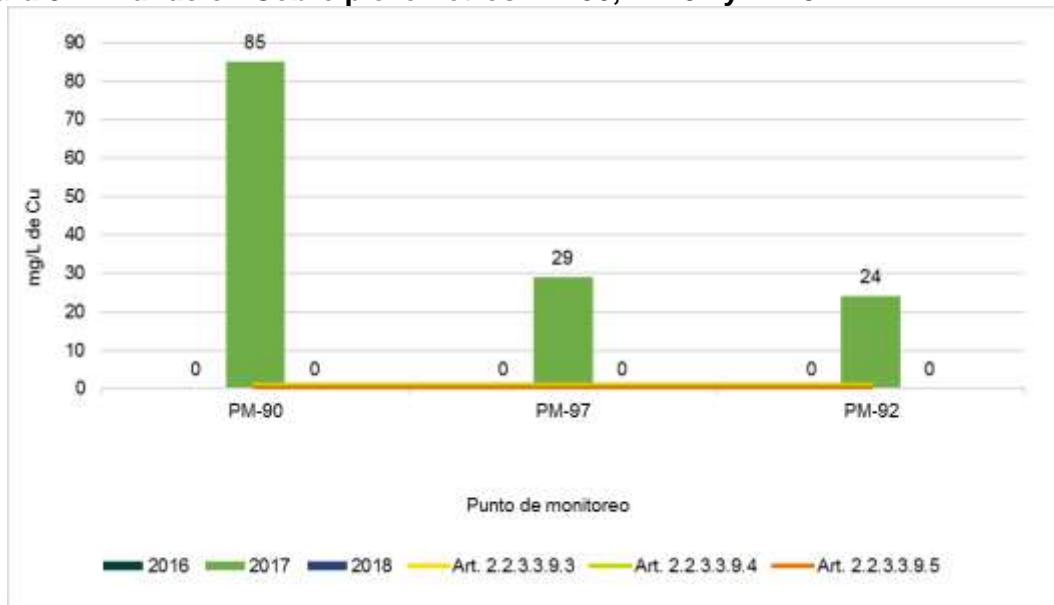
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.13 Variación Sulfatos piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.14 Variación Cobre piezómetros PM-90, PM-97 y PM-92



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.6 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 87			PM - 93			PM - 98			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	252,64	6,6	514	426,68	4,25	613	160,57	2,17	480	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0,10	26	<0,100	<0,10	33	<0,100	<0,10	<20	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	70	<0,05	300	70	<0,05	410	50	<0,05	690	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	974	1430	995	2150	4810	4050	773	990	1283	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	57,0	1700	86,8	84,7	10700	<32,0	85,7	1200	<32,0	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	2046	<1	<1	3448	<1	<1	1494	10	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0,0023	<0,05	0,00167	<0,0023	<0,05	0,00172	<0,0023	<0,05	<0,001	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	130	10,7	400	120	238	86	60	106	112	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	3,07	7,12	3,3	5,5	5,28	5	1,43	2,22	2,5	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	1,96	4,23	3,5	5,56	4,21	3,1	4,01	3,49	3,2	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,77	7,45	6,92	7,43	6,85	6,76	7,73	7,9	7,55	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	6	6	6	7,70	7,70	7,70	6,20	6,20	6,20	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
SDT	mg de SDT/L	1197,2	437	687	3120,0	2400	846	555,6	191	546	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	<20,0	675	175	520,0	2700	160	222,4	485	148	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	1207,0	872	888	3640,0	7985	1105	778,0	550	674	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	84,3	117	163	447,9	372,1	1500	192,9	201,3	276	400	400	N.E
Temperatura **	°C	32	30,1	31,7	31,1	30,6	31,7	30,5	30,7	32,7	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

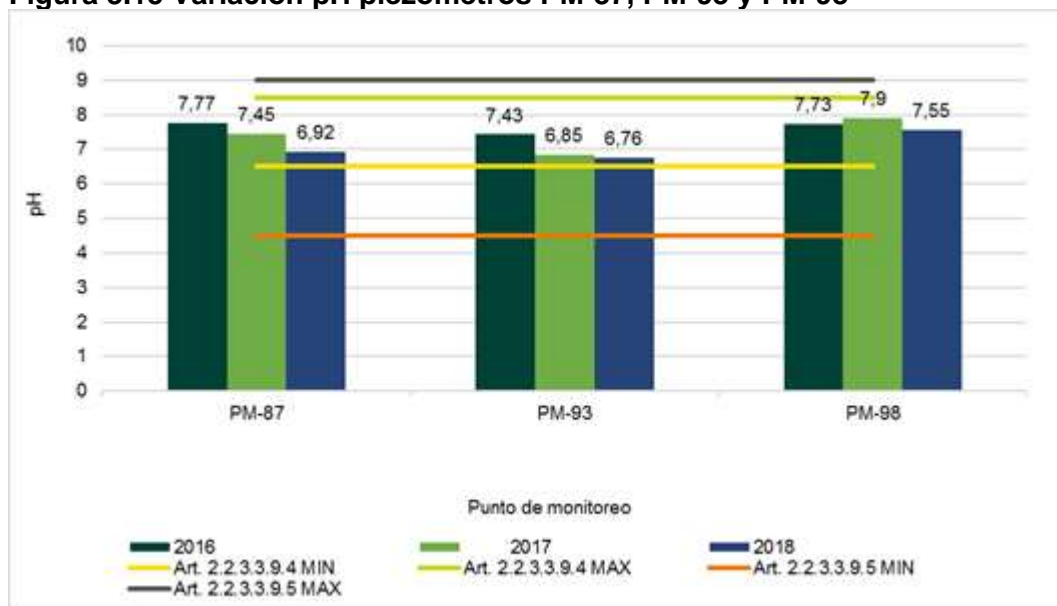
Para el piezómetro PM -87 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,92 y 7,7, ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,1 y 32°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 57,0 y 1700 mg/l de O₂. El nivel estático vario 4,05 m asociado posiblemente a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

Para el piezómetro PM -93 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,76 y 7,43, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,6 y 31,7°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio menor a 32 y 10700 mg/l de O₂. El nivel estático presento una leve disminución de 0,5 m que podría ser debido al periodo en que fue tomada la medición. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana.

Para el piezómetro PM -98 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 7,55 y 7,9, ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,5 y 32,7°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre <32 y 1200 mg/l de O₂. El nivel estático se redujo en 1,07 m, siendo esta muy pequeña y asociada posiblemente al periodo en que fue medido. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

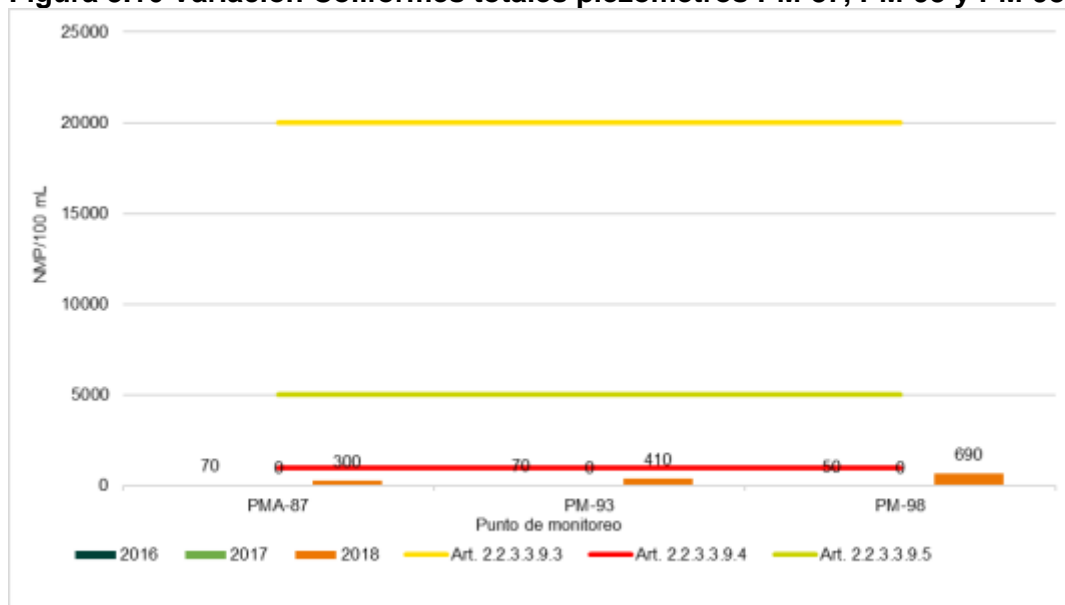
En la Figura 3.15 a la Figura 3.18 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.15 Variación pH piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98



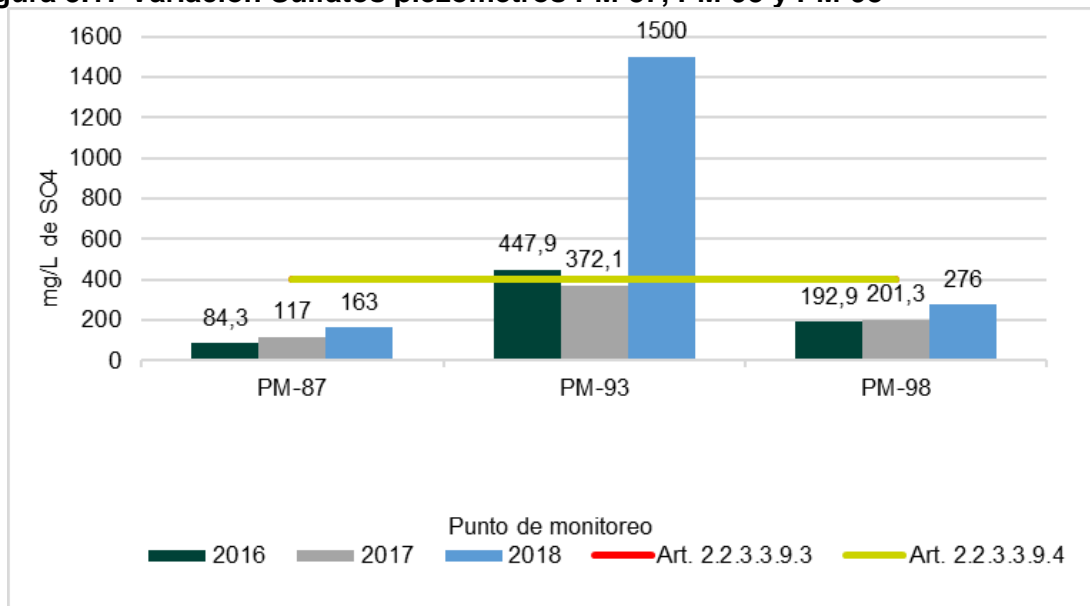
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.16 Variación Coliformes totales piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98



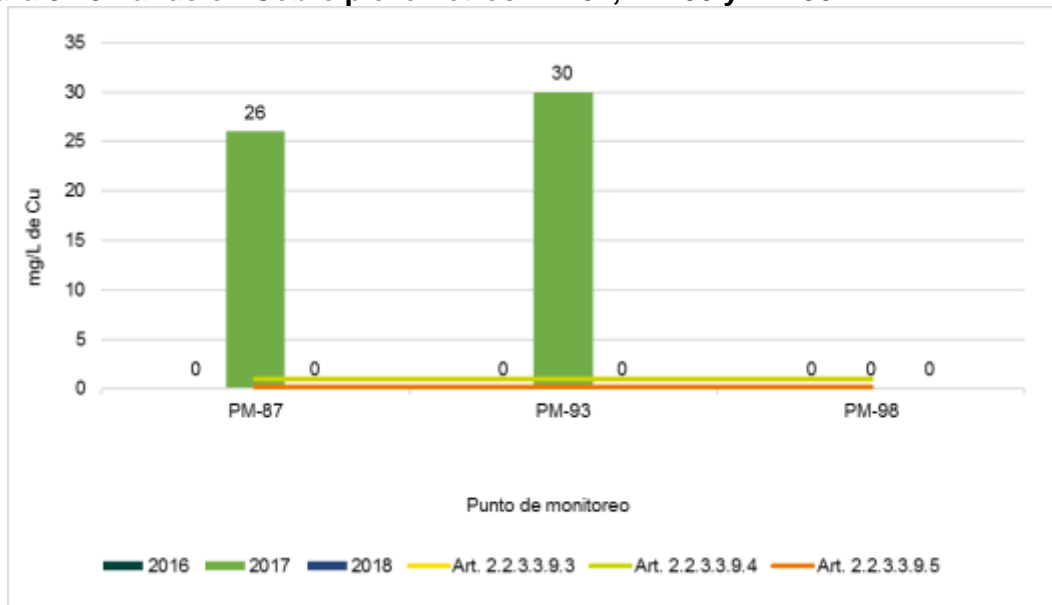
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.17 Variación Sulfatos piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.18 Variación Cobre piezómetros PM-87, PM-93 y PM-98



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.7 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 83			PM - 84			PM - 85			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3.	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	839,89	1,22	1580	127,44	0,5	142	408,72	1,25	819	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0.10	29	<0,100	<0.10	<20	<0,100	<0.10	94	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	30	<0,05	93	70	<0,05	123	70	<0,05	67	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	1949	29350	79300	1145	1975	1890	1594	1645	4210	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	1384.2	16600	1070	75.5	1500	38.5	78.4	1250	90.2	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	3436	<1	10	2508	<1	<1	1913	3	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<1,0	<5.0	2	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0.0023	<0,05	<0,001	<0.0023	<0,05	0,00296	<0.0023	<0,05	0,00201	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	80	266	32	130	202	310	120	112	380	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	0,9	3,2	2	0,27	2,1	3	0,85	3,8	3	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	2.36	4.26	3	3.41	4.12	4.3	3.01	3.85	3.5	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,48	7,25	7,19	8,34	7,55	7,44	7,50	7,25	6,73	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	5,60	5,60	5,60	5,53	5,53	5,53	6,00	6,00	6,00	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
SDT	mg de SDT/L	3903.0	14000	981	910.3	1070	546	1611.5	256	587	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	85.0	15220	88,7	47.7	975	485	76.5	810	50,3	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	3988.0	63	1104	952.0	170	998	1688.0	190	718	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	366.6	861,7	2642	60.0	144,8	174	173.7	476,6	394	400	400	N.E
Temperatura **	°C	30,8	33,6	29,3	30,2	31,6	31	31,3	33,2	31,9	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

Para el piezómetro PM -83 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 7,19 y 7,48, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 29,3 y 33,6°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 1070 y 16600 mg/l de O₂. El nivel estático presentó una variación en aumento de 2,3 m asociado posiblemente al periodo climático en que fueron efectuadas las mediciones. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

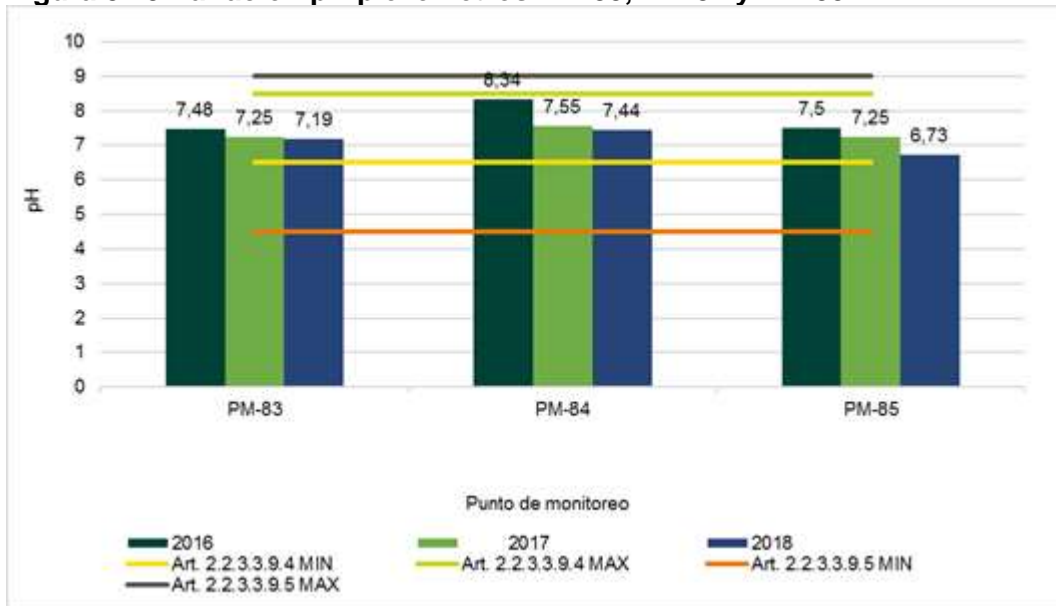
Para el piezómetro PM -84 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 7,44 y 8,34, ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,2 y 31,6°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 38,5 y 1250 mg/l de O₂. El nivel estático varió 2,95 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados.

Para el piezómetro PM -85 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX. El pH presenta valores entre 6,73 y 7,5, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 31,3 y 33,2°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 78,4 y 1700 mg/l de O₂. El nivel estático varió 2,95 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados.

Para los piezómetros PM-83 y PM-85 se presentan concentraciones por encima de los límites establecidos por la normatividad con mediciones de 29 y 94 mg/L para el Cobre, para el caso de Sulfatos presentan mediciones de 861,7 y 476,6 mg/L respectivamente, aspecto que restringe el uso del recurso para consumo humano y doméstico.

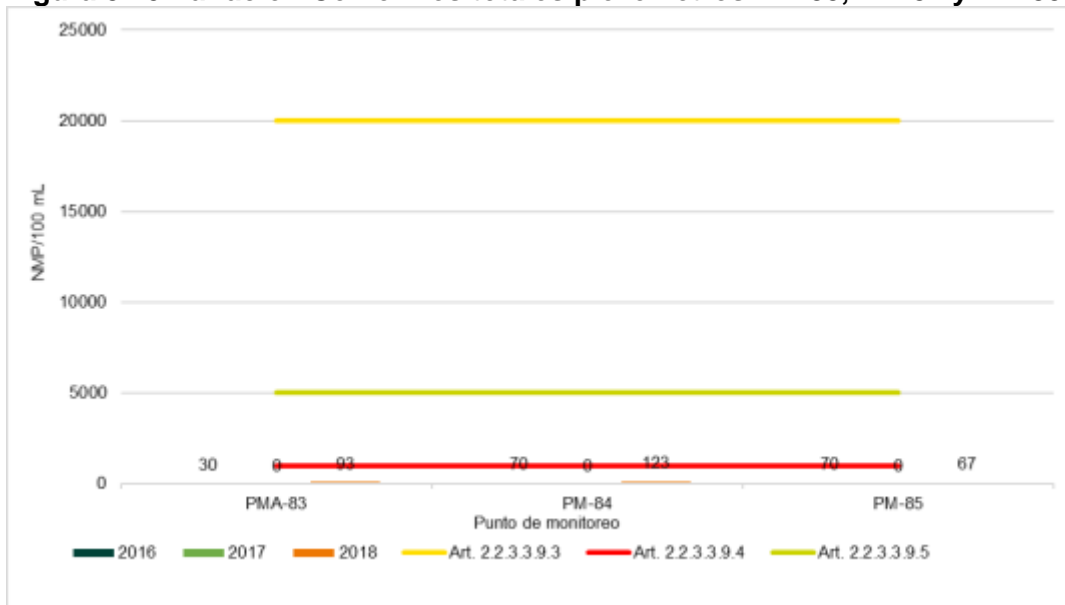
En la Figura 3.19 a la Figura 3.22 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-83, PM-83 y PM-85 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.19 Variación pH piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85



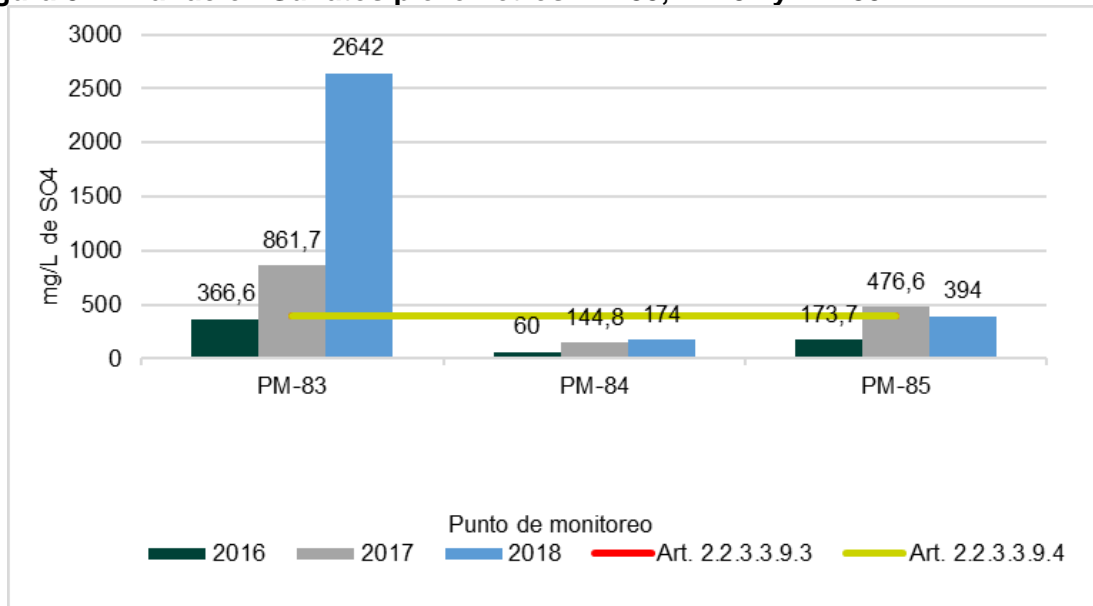
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.20 Variación Coliformes totales piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85



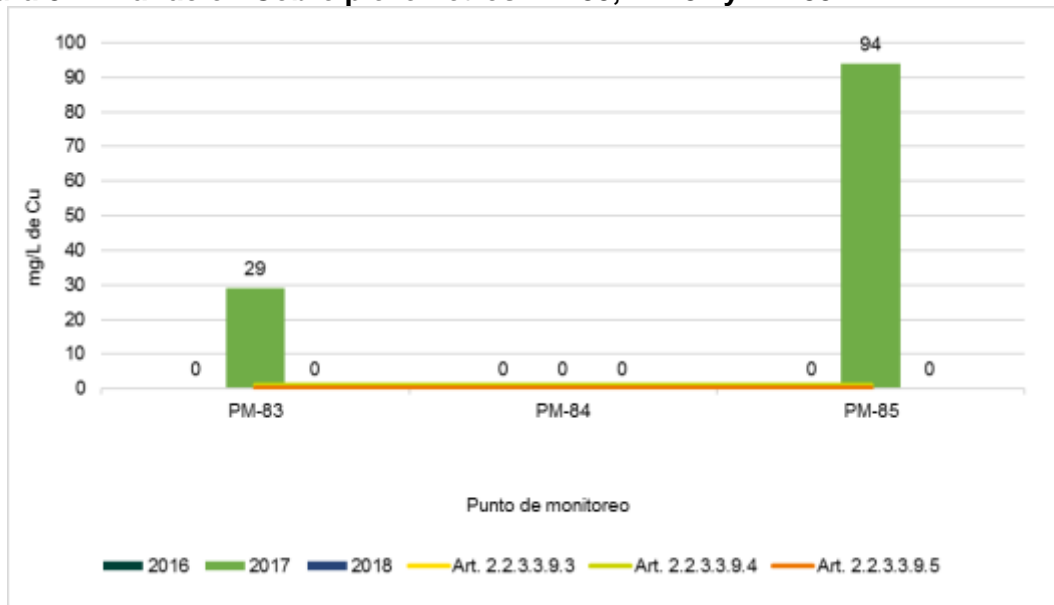
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.21 Variación Sulfatos piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.22 Variación Cobre piezómetros PM-83, PM-84 y PM-85



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.8 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77

PARAMETRO	UNIDADES	PM- 89			PM - 82			PM - 77			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5.0	<0,01	<1,0	<5.0	3,01	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO3	413,21	1,52	853	424,44	<2,00	542	415,45	5,26	760	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0.010	<1,40	<0,010	<0.010	<0,05	<0,010	<0.010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0.10	<20	<0,100	<0.10	<0,15	0,112	<0.10	27	0,105	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	30	<0,05	800	80	3223	1870	50	<0,05	1720	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	1361	4290	8050	406	530	599	2420	2560	5080	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0.20	<0,002	<0,200	<0.20	<0,11	<0,200	<0.20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O2	52.1	3850	<32,0	64.3	192	1185	85.4	3800	715	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	3255	<1	<1	254	140	10	2143	<1	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	<0.20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	<5.0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0.0023	<0,05	0,00738	<0.0023	<0,002	0,00371	<0.0023	<0,05	0,00211	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	100	23	44	100	17000	360	100	14,9	400	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	1,61	1,9	2	4,65	6,22	3	4,45	6,18	5	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O2	2.26	4,12	3	3.61	2,12	3,2	0.60	3,12	3,01	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,91	6,95	6,77	7,96	7	6,93	7,06	6,75	6,35	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0.10	<0,15	<0,100	<0.10	<0,05	<0,100	<0.10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	4,83	4,83	4,83	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0.005	<0,11	<0,001	<0.005	<0,01	<0,001	<0.005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
Sólidos disueltos totales	mg de SDT/L	2907.7	1870	1329	214.7	250	243	2073.0	370	812	N.E	N.E	N.E
Sólidos suspendidos totales	mg/L de SST	106.3	2140	345	141.3	5956	582	865.0	1265	83,1	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	3014.0	1050	1797	356.0	6319	810	2938.0	2200	1003	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO42-	201.0	326,4	3002	13.6	93,6	125	149.5	628	58,6	400	400	N.E
Temperatura **	°C	32,4	30,65	34,8	29,8	29,65	31,8	33,8	30,8	33,9	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

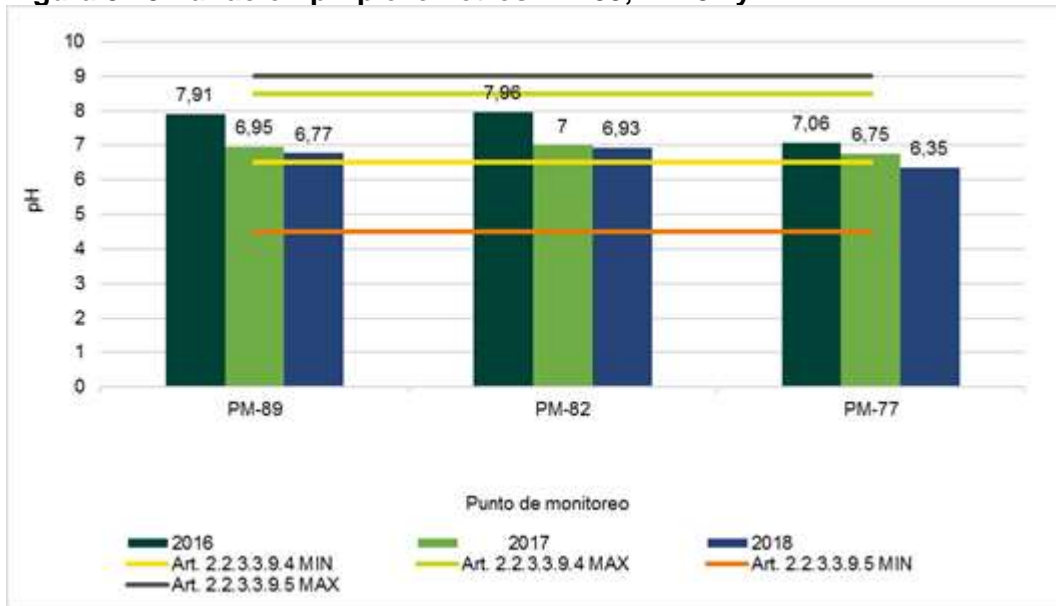
Para el piezómetro PM -89 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. Situación similar con los BTEX y los hidrocarburos totales. El pH presenta valores entre 6,77 y 7,91, ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,65 y 34,8°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio menos de 32, y hasta 3850 mg/l de O₂. El nivel estático presento una variación de 0,39 m la cual se pudo dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados.

Para el piezómetro PM -82 se puede observar en la tabla que los aceites y grasas en el año 2016 y 2018 no fueron detectados, para el año 2017 hay presencia de grasas y aceites en la muestra reportando un valor de 3,01 mg/l. Los BTEX y los hidrocarburos totales analizados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valores entre 6,93 y 7,96, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 29,65 y 31,8°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 64,3 y 1185 mg/l de O₂. El nivel estático vario 3,22 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están fuera de los rangos aceptados para Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico por la normativa colombiana para los años 2017 y 2018.

Para el piezómetro PM -77 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto. El pH presenta valores entre 6,35 y 7,06 rangos que cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,8 y 33,9°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 85,4 y 3800 mg/l de O₂. El nivel estático vario 1,73 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales se encuentran fuera de los rangos aceptados por la normativa colombiana para Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico para el año 2018.

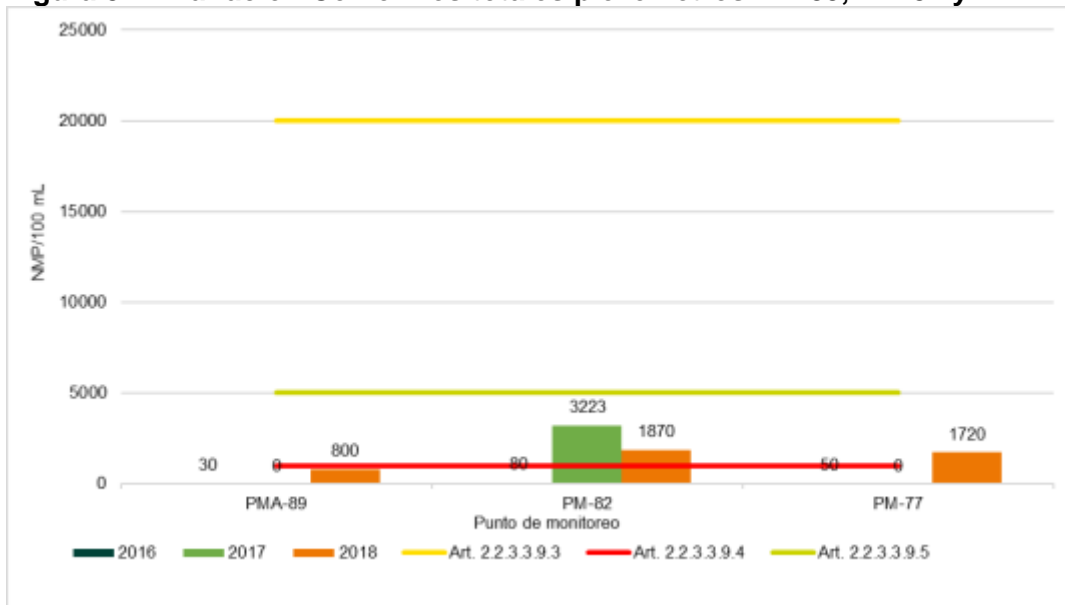
En la Figura 3.22 a la Figura 3.26 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.23 Variación pH piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77



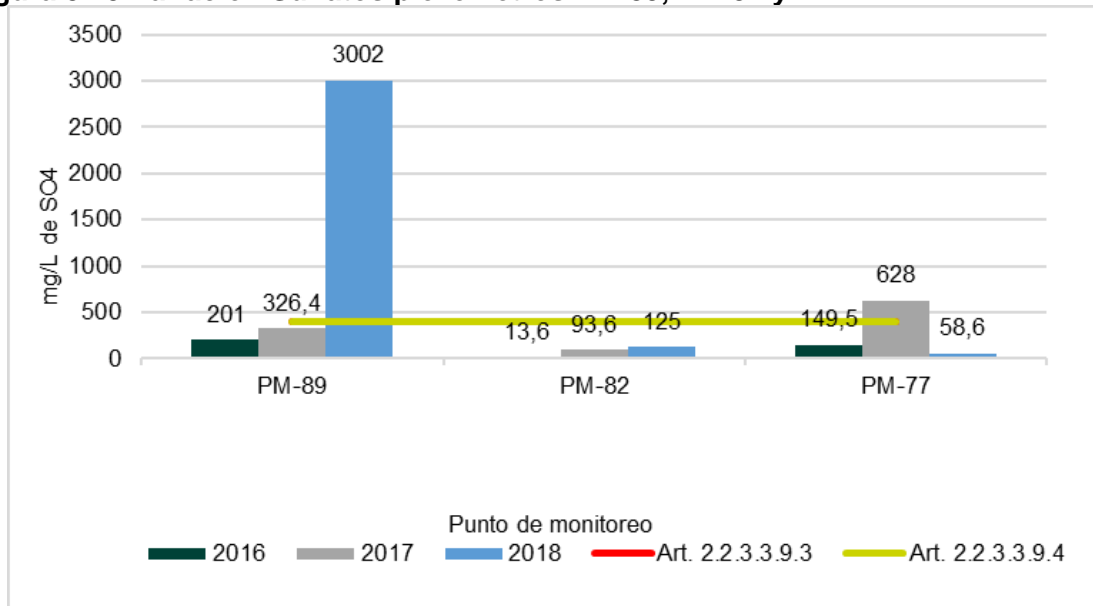
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.24 Variación Coliformes totales piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77



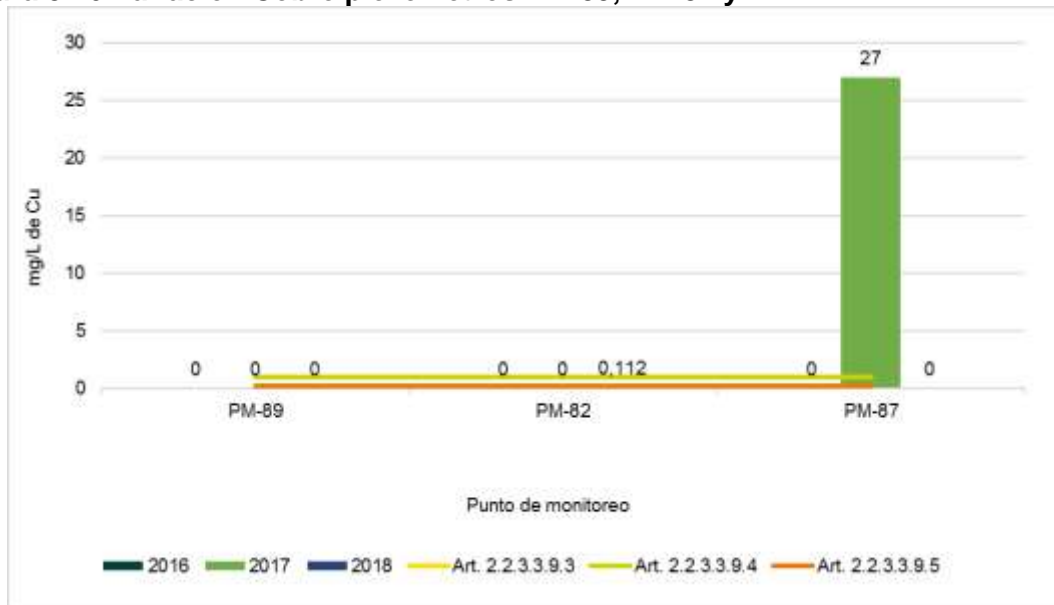
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.25 Variación Sulfatos piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.26 Variación Cobre piezómetros PM-89, PM-82 y PM-77



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.9 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 105			PM - 102			PM - 86			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo													
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	<5,0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	994,85	2,25	1288	437,91	2,54	345	422,19	1,66	463	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	<0,010	<1,40	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0,10	<20	<0,100	<0,10	29	<0,100	<0,10	<20	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	90	<0,05	74	80	<0,05	66	70	<0,05	540	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	7990	8305	12950	5370	19815	5580	1254	2175	2440	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	<0,20	<0,002	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	79,1	6000	43	403,6	11500	50,9	81,4	1600	40,6	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	10	1017	5	<1	2495	2	10	1421	10	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	<0,20	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	<5,0	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0,0023	<0,05	<0,001	<0,0023	<0,05	0,00335	<0,0023	<0,05	0,0073	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	130	153	7	100	228	136	110	177	240	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	1,54	3,85	4,3	2,45	4,21	4,2	0,67	2,2	2	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	1,3	4,25	2,1	1,7	4,12	3	0,9	3,25	2,5	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,40	6,95	6,8	7,62	7	7,44	7,45	7,1	6,9	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	<0,10	<0,15	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	4,9	4,9	4,9	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	<0,005	<0,11	<0,001	0,01	0,01	0,02
SDT	mg de SDT/L	3929	2960	754	3890	9460	859	1553,7	470	1766	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	71,0	4650	66,9	94,0	9815	79,1	92,0	1075	209	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	4000,0	630	815	3984,0	815	940	1645,7	300	2021	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	212,7	337,3	6891	234,3	308,9	11596	50,3	288,5	140	400	400	N.E
Temperatura **	°C	31,9	31,35	31,2	30,8	30,45	32,5	31,6	30,9	34,8	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.
Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.
N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

Para el piezómetro PM -105 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio. El pH presenta valores entre 7,40 y 6,8, los cuales cumplen con la normatividad aplicable, la temperatura se encuentra entre 31,9 y 31,2°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 43 y 6000 mg/l de O₂. El nivel estático aumento en 2,76 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están muy por debajo de los límites establecidos por la norma por lo cual se consideran favorables.

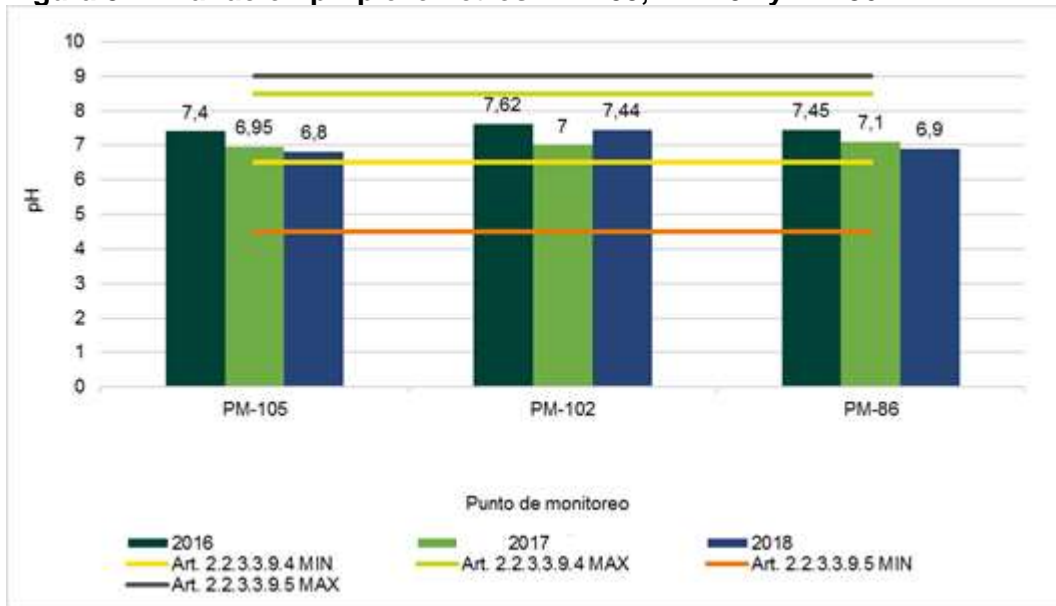
Para el piezómetro PM -102 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valores entre 7,62 y 6,9, ambos casos cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 32,5 y 30,45°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio significativo pasando de 403,6 en 2016 a 11500 mg/l de O₂ en 2017 y disminuyendo significativamente a 50,9 mg/l en 2018. El nivel estático varía 1,76 m, esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática. Los coliformes totales están por debajo de los rangos establecidos por la normativa colombiana para los años monitoreados. El Cobre se encuentra fuera de la norma con una medición de 29 mg/L de Cu para el año 2017 frente a una concentración máxima de 1,0 mg/L establecido por la norma para uso en consumo humano.

Para el piezómetro PM -86 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio. El pH presenta valores entre 7,45 y 6,9, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 34,8 y 30,9°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 40,6 y 1600 mg/l de O₂. El nivel estático presento una variación de 1,53 m entre las mediciones de los tres años, aspecto posiblemente asociado a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana.

Los piezómetros PM-105 y PM-102 presentan valores de sulfatos fuera de la normatividad para el año 2018.

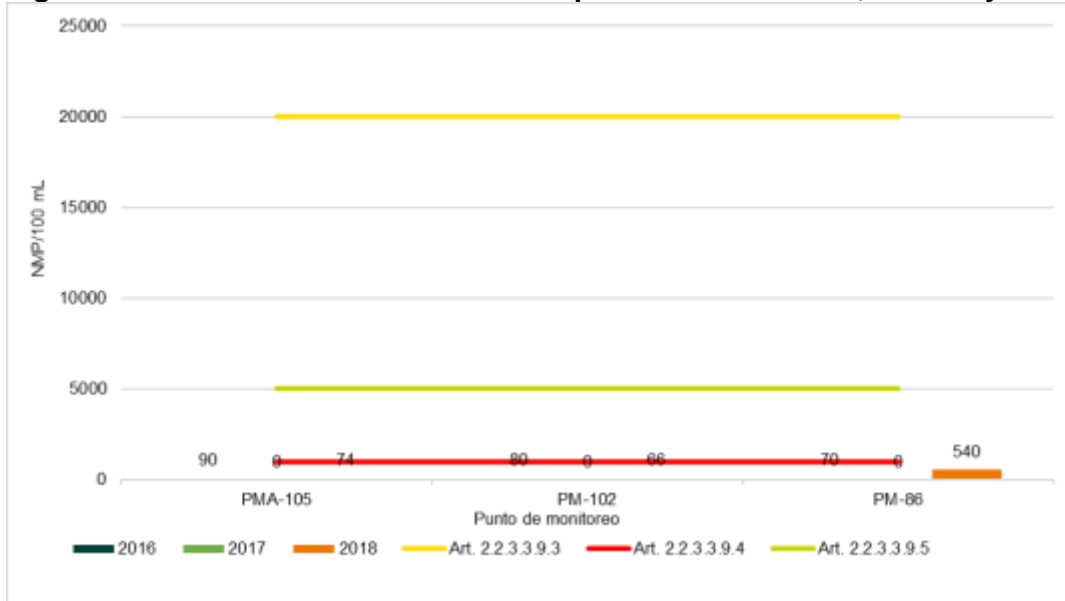
En la Figura 3.27 a la Figura 3.30 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.27 Variación pH piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86



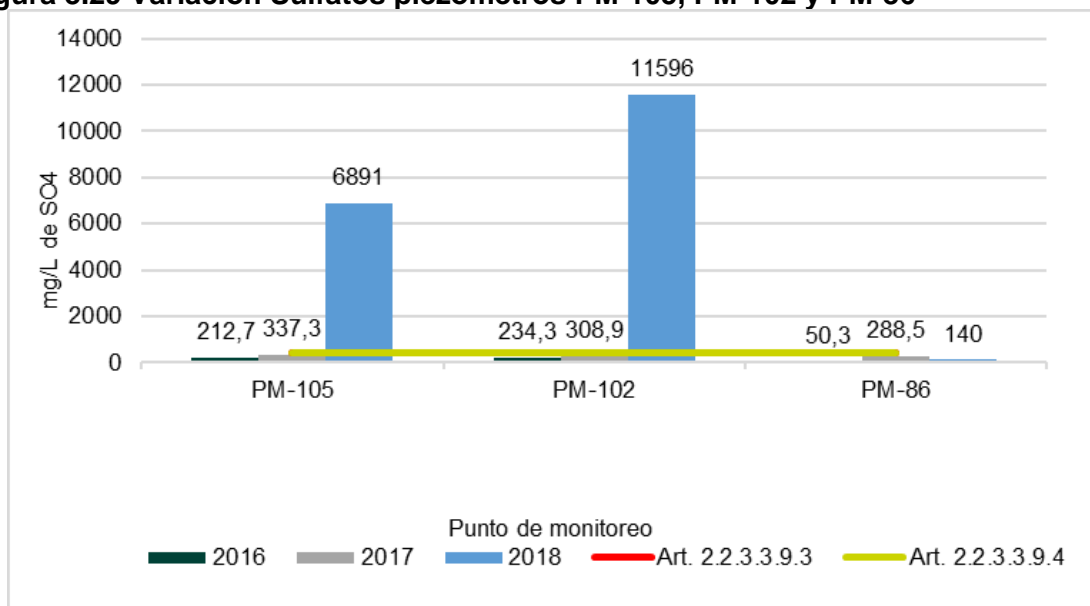
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.28 Variación Coliformes totales piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86



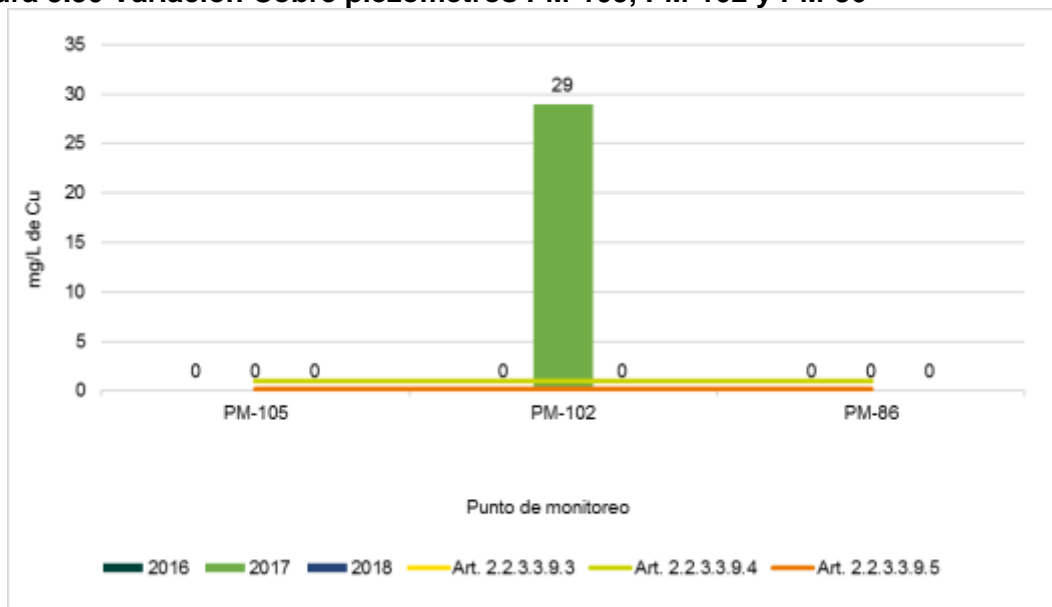
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.29 Variación Sulfatos piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.30 Variación Cobre piezómetros PM-105, PM-102 y PM-86



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.10 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-79, PM-78, PM-80 y PM-81

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 79			PM - 78	PM - 80 *		PM - 81			DECRETO 1076 DE 2015, CAPITULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2018	2016	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo		2016	2017	2018	2018	2016	2018	2016	2017	2018			
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5.0	<0,01	<1,0	<1,0	<5.0	<1,0	<5.0	<0,01	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	507,53	*	1760	<4,0	469,35	166	494,05	1,26	N.R.	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0.010	300000	<0,010	<0,010	<0.010	<0,010	<0.010	<1,40	N.R.	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0.10	247	0,201	<0,100	<0.10	<0,100	<0.10	87	N.R.	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	30	<0,05	750	187	150	2420	60	5,53	N.R.	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	2230	4200	3900	2400	3290	2520	1448	1860	2540	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0.20	<0,002	<0,200	<0,200	<0.20	<0,200	<0.20	<0,002	N.R.	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	87.3	3200	880	47,4	<32.0	34,7	69.9	1300	N.R.	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	670	10	<1	<1	1	10	3255	N.R.	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0.20	4,32	3,91	<0,20	<0.20	<0,20	<0.20	<0,002	N.R.	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5.0	350000	550	<1,0	<5.0	<1,0	<5.0	<1,40	N.R.	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0.0023	<0,05	0,011	0,00449	<0.0023	<0,001	<0.0023	<0,05	N.R.	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	90	49	328	86	190	187	100	109	N.R.	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0.10	<0,15	<0,100	<0,100	<0.10	<0,100	<0.10	<0,15	N.R.	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	1,33	*	1,8	0,8	2,82	2	0,05	3,2	1,1	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	<0.10	4,2	N.R.	5	0,60	5,1	1,30	3,89	3,05	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,30	6,93	7,12	8,01	7,07	7,8	7,44	6,85	6,55	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0.10	<0,15	<0,100	<0,100	<0.10	<0,100	<0.10	<0,15	N.R.	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	6,2	6,2	6,2	6,12	6,12	6,12	3,21	3,21	3,21	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0.005	<0,11	<0,001	<0,001	<0.005	<0,001	<0.005	<0,11	N.R.	0,01	0,01	0,02
SDT	mg de SDT/L	2611.0	1600	2777	1857	3572.0	246	1320.0	987	N.R.	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	55.0	2300	1068	145	252.0	100	88.0	935	N.R.	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	2666.0	810	215,6	2276	3824.0	1068	1408.0	115	N.R.	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	199.0	497	3900	564	293.9	183	94.4	286,6	N.R.	400	400	N.E
Temperatura **	°C	32	31,8	N.R.	30,9	31,3	30,9	29,8	32,6	34,7	N.E	N.E	N.E

*El punto PM-80 en el año 2017 se encontraba inundado de lodo, por lo cual no cuenta con monitoreo

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

Para el piezómetro PM -79 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valores entre 6,93 y 7,3, cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 31,8 y 32°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 87,3 y 3200 mg/l de O₂. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los años monitoreados.

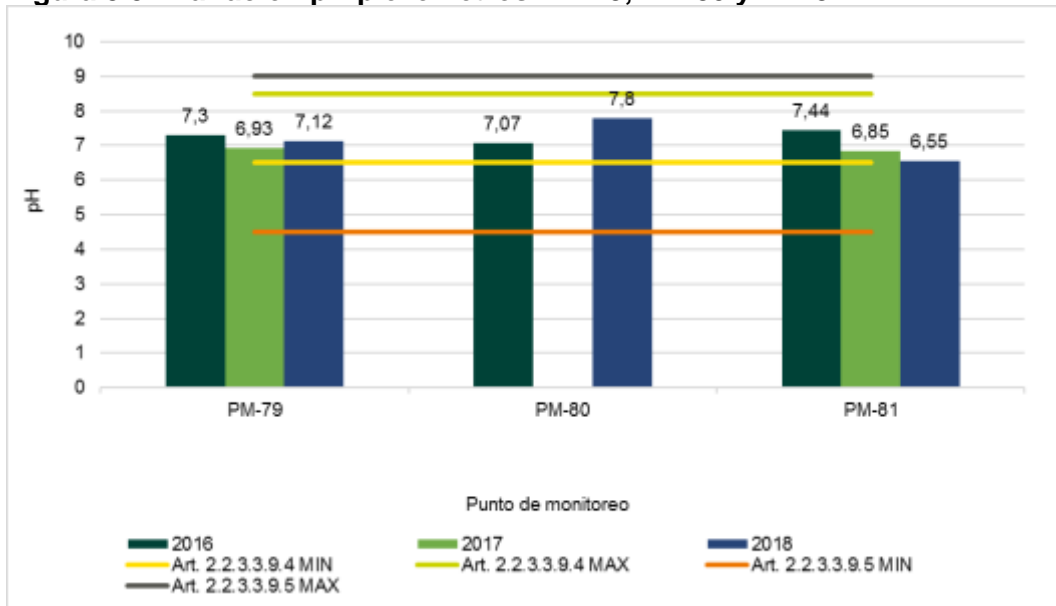
Para el piezómetro PM -78 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valor 8,01, cumple con la normativa. Para la demanda química de oxígeno se observa un valor de 47,4 mg/l de O₂. El nivel estático se encuentra en 0,8. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana.

Para el piezómetro PM -80 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH varía entre 7,07 y 7,8 cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,9 y 31,3°C. Para la demanda química de oxígeno se observa un valor menor de 34,7 mg/l de O₂. El nivel estático se encuentra entre 2 - 2,82m. Los coliformes totales están fuera del rango aceptado por la normativa colombiana para Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico para el año 2018, hay que resaltar que este punto en el monitoreo del año 2017 se encontraba inundado de lodo por lo que no se realizó monitoreo.

Para el piezómetro PM -81 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valores entre 6,55 y 7,44, cumpliendo con la normativa, la temperatura se encuentra entre 29,8 y 34,7°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observa un cambio entre 69,9 y 1300 mg/l de O₂ entre los monitores del año 2016 y 2017. El nivel estático varío 3,15 m esta variación se puede dar debido a la época de muestreos y la variación climática, lo que puede producir una mayor o menor presencia de aguas que lleguen a pozos subterráneos. Los coliformes totales están dentro de los rangos aceptados por la normativa colombiana para los dos años monitoreados.

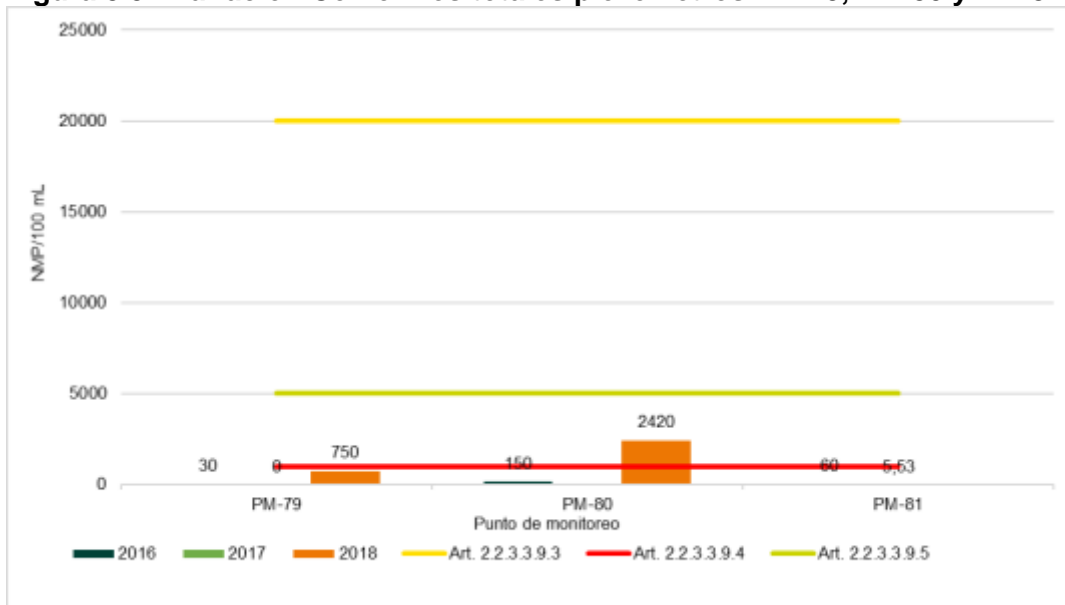
En la Figura 3.31 a la Figura 3.34 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.31 Variación pH piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81



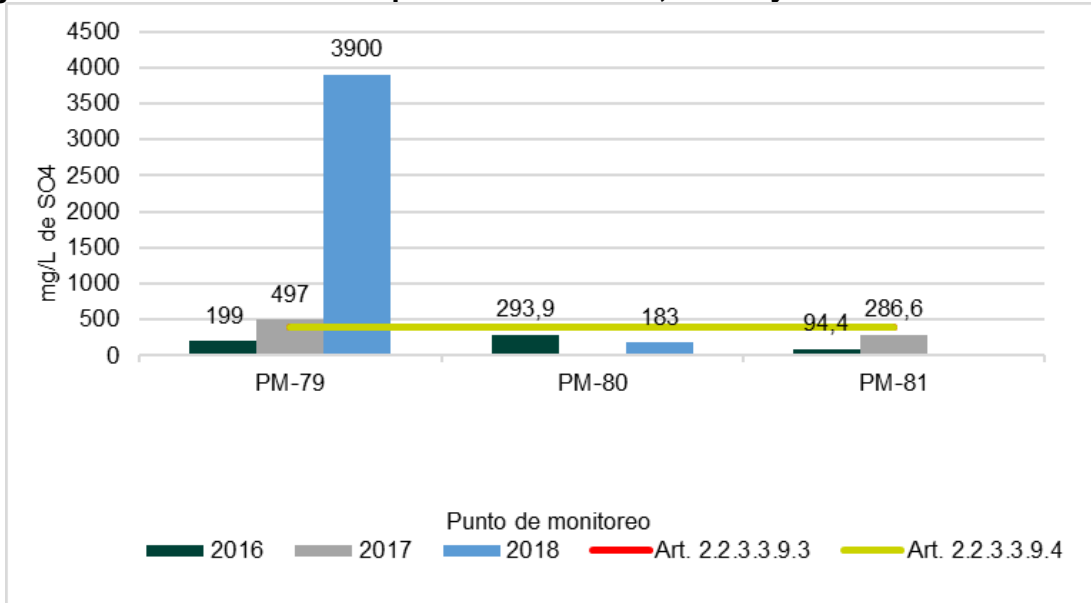
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.32 Variación Coliformes totales piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81



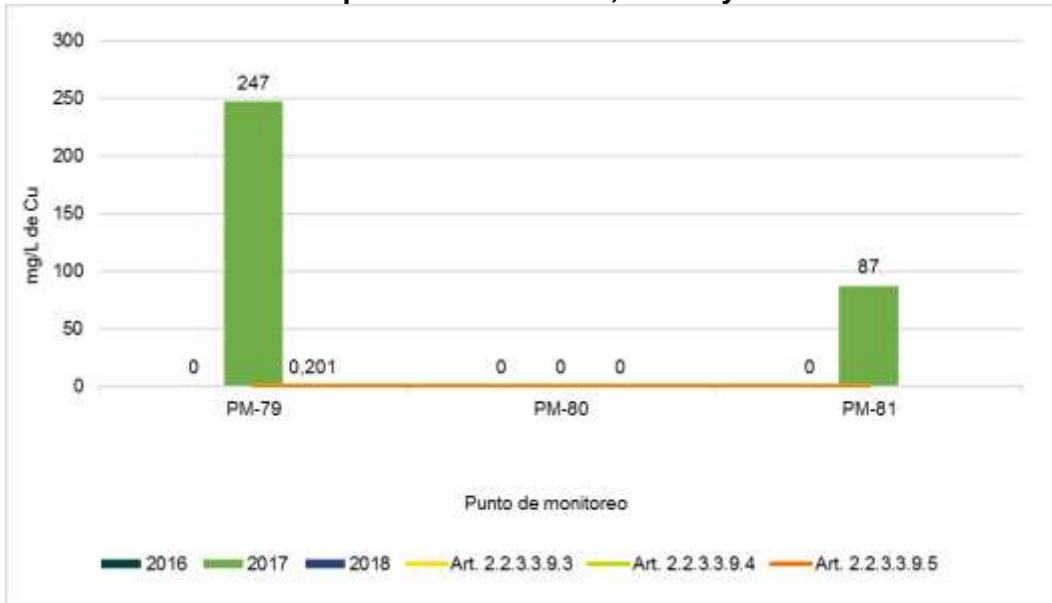
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.33 Variación Sulfatos piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.34 Variación Cobre piezómetros PM-79, PM-80 y PM-81



Fuente: Concol By WSP, 2019

Tabla 3.11 Resultados analíticos de las muestras de agua subterránea tomados de la red de monitoreo dentro de la refinería, para el año 2016, 2017 y 2018, piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103

PARAMETRO	UNIDADES	PM - 88			PM - 99			PM - 103			DECRETO 1076 DE 2015, CAPÍTULO 3, SECCION 9, DISPOSICIONES TRANSITORIAS		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	Art. 2.2.3.3.9.3	Art. 2.2.3.3.9.4	Art. 2.2.3.3.9.5
Año de muestreo		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018			
Aceites y grasas	mg/L de A y G	<5	<1,40	<1,0	<5	<1,40	<1,0	<5	<1,40	<1,0	S.P.V	S.P.V	N.E
Alcalinidad total	mg/L de CaCO ₃	252,64	231,3	396	290,82	210	475	586,13	180	409	N.E	N.E	N.E
BTEX	mg/L	<0,01	<0,05	<0,010	<0,01	<0,05	<0,010	<0,01	<0,05	<0,010	N.E	N.E	N.E
Cobre	mg/L de Cu	<0,1	<0,15	<0,100	<0,1	<0,15	<0,100	<0,1	<0,15	<0,100	1,0	1,0	0,2
Coliformes totales	NMP/100 mL	100	1019	330	20	2360	130	40	4366	580	20000	1000	5000
Conductividad **	µS/cm	620	820	1140	707	1425	12010	681	4155	14290	N.E	N.E	N.E
Cromo	mg/L de Cr	<0,2	<0,11	<0,200	<0,2	<0,11	<0,200	<0,2	<0,11	<0,200	0,05	0,05	0,1
DQO	mg/L de O ₂	<32	<20	<32,0	<32	30	34,7	2690,8	33	63,7	N.E	N.E	N.E
Escherichia coli	NMP/100 mL	<1	99	<1	<1	107	<1	10	23,5	<1	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L de fenol	<0,2	<0,002	<0,20	<0,2	<0,002	<0,20	<0,2	<0,002	<0,20	0,002	0,002	N.E
Hidrocarburos totales	mg/L de HCT	<5	<1,40	<10,0	<5	<1,40	<10,0	<5	<1,40	<10,0	N.E	N.E	N.E
Mercurio	mg de Hg/L	<0,0023	<0,002	0,00276	<0,0023	<0,002	0,00346	<0,0023	<0,002	0,00144	0,002	0,002	N.E
Mesófilos	UFC/mL	120	16000	120	80	9000	136	90	31000	82	N.E	N.E	N.E
Níquel	mg/L de Ni	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	<0,06	<0,15	<0,100	N.E	N.E	0,2
Nivel estático **	m	0,86	1,72	0,5	1,17	5,47	4,2	2,4	4,12	2,5	N.E	N.E	N.E
Oxígeno disuelto	mg/L de O ₂	3,01	3,59	3,2	2,21	2,23	3,3	0,9	4,05	12,5	N.E	N.E	N.E
Ph **	Unidades de pH	7,92	7,35	7,41	7,67	7,15	7,9	7,4	7,1	6,8	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0
Plomo	mg/L de Pb	<0,1	<0,05	<0,100	5,71	<0,05	<0,100	<0,1	<0,05	<0,100	0,05	0,05	5,0
Profundidad **	m	4	4	4	6	6	6	5,52	5,52	5,52	N.E	N.E	N.E
Selenio	mg/L de Se	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	<0,01	<0,001	<0,005	<0,01	<0,001	0,01	0,01	0,02
SDT	mg de SDT/L	810,7	395	825	928,8	705	1253	2644,6	2060	421	N.E	N.E	N.E
SST	mg/L de SST	95	700	148	75,5	415	206	212,5	1100	30,8	N.E	N.E	N.E
Sólidos totales	mg/L de ST	905,7	1220	1023	1004,3	1339	1459	2857,1	3400	503	N.E	N.E	N.E
Sulfatos	mg/L de SO ₄ ²⁻	73	228	217	78,2	594	855	73	1460	2951	400	400	N.E
Temperatura **	°C	32,5	30,85	31,5	31,1	29,6	31,5	31,8	31,6	30,5	N.E	N.E	N.E

Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola.

N.E.: No establecido. S.P.V.: Sin Presencia Visible.

Fuente: Concol By WSP, 2019

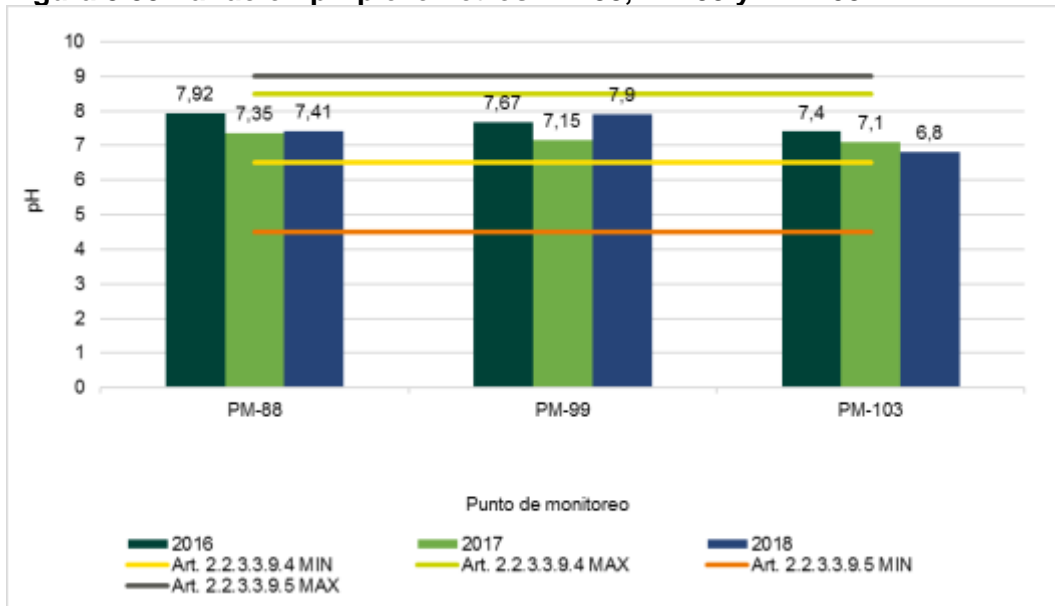
Para el piezómetro PM -88 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta valores entre 7,35 a 7,92, cumplen con la normativa, la temperatura se encuentra entre 30,85 y 32,5°C sus variaciones no son significativas. Para la demanda química de oxígeno se observan valores <32 mg/l de O₂. Los coliformes totales están fuera del rango aceptado por la normativa colombiana para el año 2017 para Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

Para el piezómetro PM -99 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta varía entre 7,15 a 7,9, cumpliendo con la normativa. Para la demanda química de oxígeno se observa valores <34,7 mg/l de O₂. El nivel estático se varía 4,3 m. Los coliformes totales están fuera del rango aceptado por la normativa colombiana para el año 2017 para desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico. Adicionalmente las muestras del 2017 y 2018 presentan valores fueran del rango para Sulfatos.

Para el piezómetro PM -103 se puede observar que los aceites y grasas, los BTEX y los hidrocarburos totales no fueron detectados, por lo cual no hay evidencia de estos en este punto ya que los resultados se encuentran por debajo del límite de detección. El pH presenta varía entre 6,8 a 7,4, cumpliendo con la normativa. Para la demanda química de oxígeno se observa variación entre 33 y 2690,8 mg/l de O₂. El nivel estático varia 1,72 m. Los coliformes totales están fuera del rango aceptado por la normativa colombiana para el año 2017 para desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico. Adicionalmente las muestras del 2017 y 2018 presentan valores fueran del rango para Sulfatos.

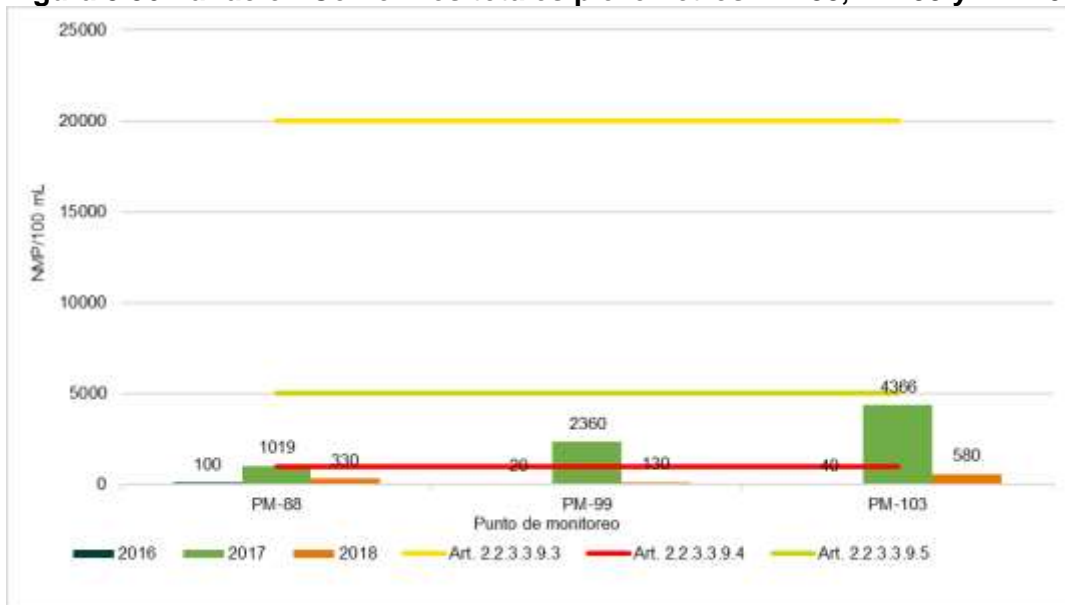
En la Figura 3.31 a la Figura 3.34 se presenta la variación de pH, coliformes, sulfatos y cobre para los piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103 respecto a los límites establecidos por el decreto 1075 de 2015.

Figura 3.35 Variación pH piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103



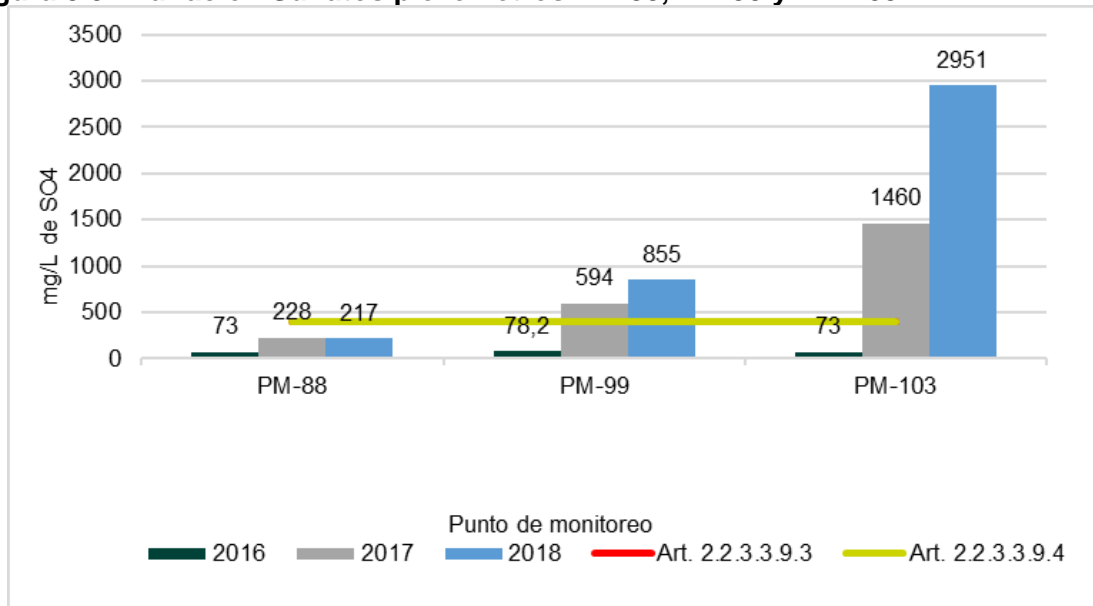
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.36 Variación Coliformes totales piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103



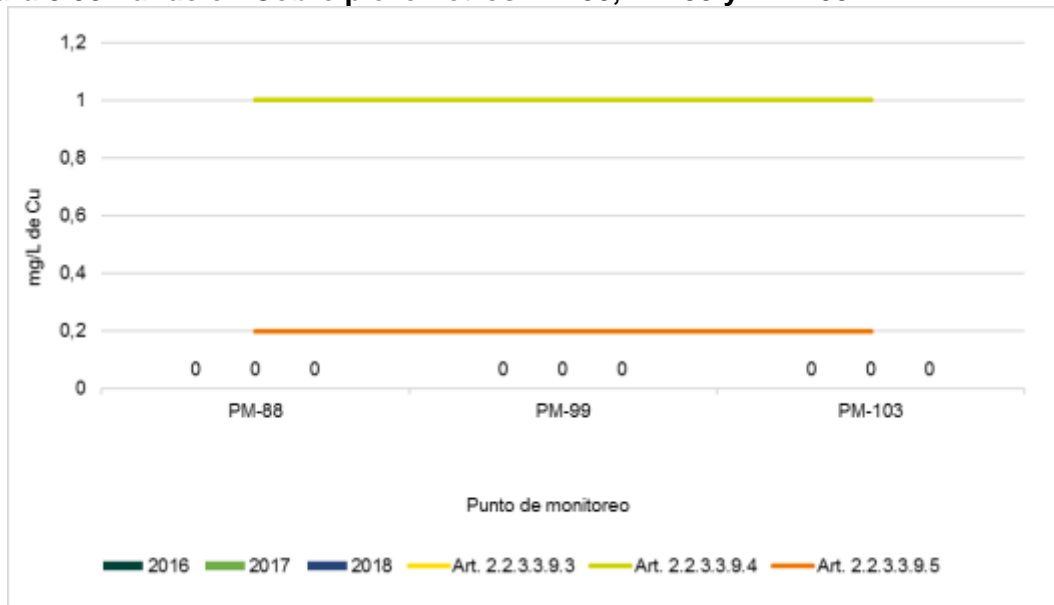
Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.37 Variación Sulfatos piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.38 Variación Cobre piezómetros PM-88, PM-99 y PM-103



Fuente: Concol By WSP, 2019

De manera general se observan valores fuera del límite establecido por el decreto 1076 de 2015 para Cobre, Sulfatos y Coliformes totales, especialmente para los años 2017 y 2018.

3.2.7.4.1 Comportamiento histórico de la pluma contaminante

Para la delimitación de la pluma contaminante de hidrocarburo que se encuentra en la Refinería de Cartagena, se utilizaron un total de 84 pozos el monitoreo de las aguas subterráneas, de los cuales 7 pertenecen a las zanjas remediales (Ecopetrol S.A, 2017).

Para detectar el agua e hidrocarburo presente en cada uno de los pozos y hallar su espesor se utilizó una sonda interfaz de nivel, el cual contiene un prisma óptico de detección en tamaño estándar de 1", con precisión de 3 mm y capaz de detectar capa de hidrocarburo desde 1,5 mm de espesor.

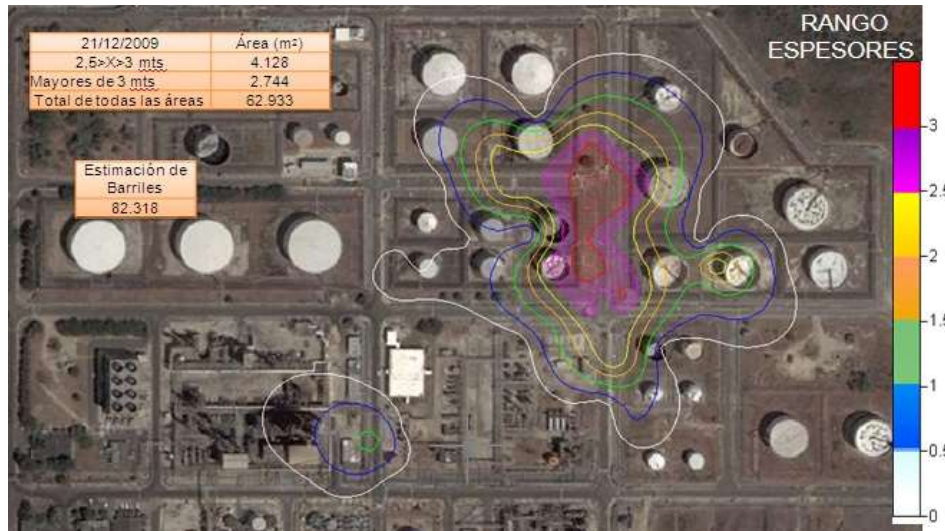
Para la determinación de la pluma contaminante en la Refinería, se utilizó la información recopilada de niveles de agua en los pozos y capa de hidrocarburo, esto para generar un mapa de isolíneas para determinar la extensión de la pluma contaminante, para este fin se utilizó el programa Surfer versión 8.01 de Golden Software Inc., que permite interpolar a partir de datos puntuales reales, una malla regular de datos y generar curvas de nivel representativas del área estudiada.

A partir de estos modelos representativos se viene estimando el área impactada y el volumen estimado de hidrocarburo en el subsuelo. Cabe resaltar que la mancha generada corresponde a un modelo representado por el programa usando uno de muchos posibles métodos de interpolación para hallar las áreas. (Ecopetrol S.A, 2017)

A continuación, se muestra la variación de la pluma contaminante en la Refinería desde el inicio del monitoreo en el año 2009 hasta el año 2016.

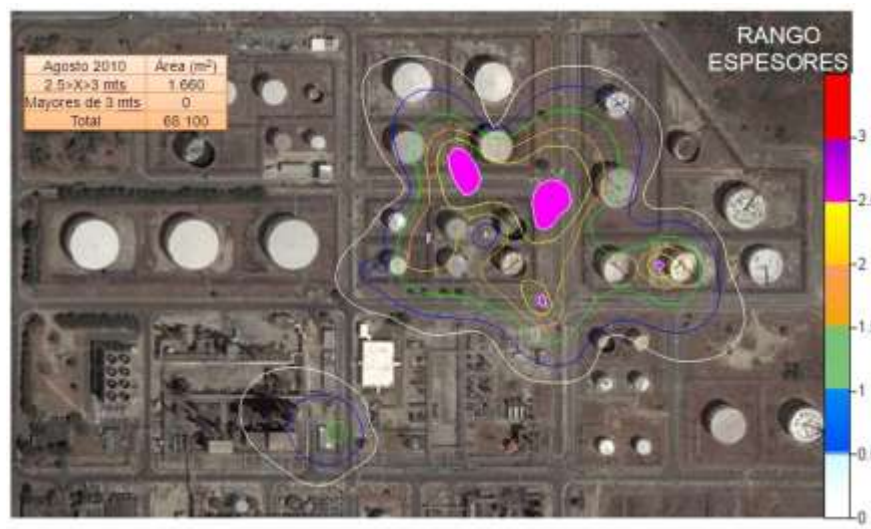
La Figura 3.39 nos muestra los inicios del monitoreo de la pluma contaminante con espesores de hidrocarburo mayores a 3.0 m a finales del 2009, en la Figura 3.40 nos muestra el comportamiento de 2010 y en la Figura 3.41 muestra como en noviembre de ese año se observa la desaparición de zonas con espesores mayores a los 3 m de espesor de capa de hidrocarburo, acordes con los volúmenes extraídos y representados en la zona donde se realiza la extracción.

Figura 3.39 Pluma contaminante año 2009



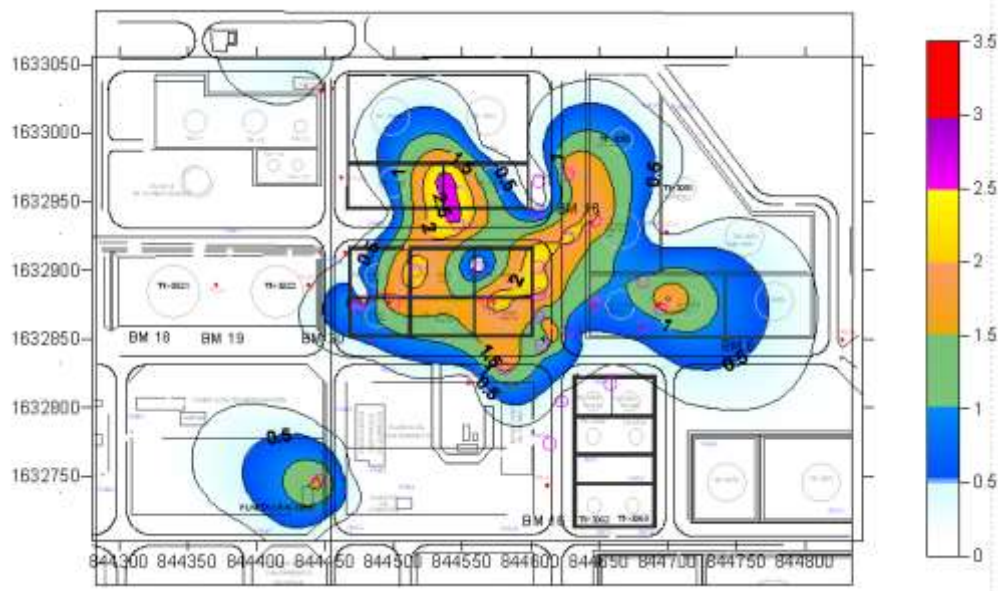
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.40 Pluma contaminante año 2010



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.41 Pluma contaminante noviembre de 2010



Fuente: Ecopetrol, 2017

En las Figura 3.42 y Figura 3.43 se observa una disminución marcada de los espesores de hidrocarburo; todo esto ligado a las labores de extracción del hidrocarburo con camión de vacío en la zona de la zanja remedial, a comienzos del año 2011.

Como se puede observar en las figuras, luego del monitoreo, la pluma de hidrocarburo, aunque aún es representativa ha disminuido su extensión, hay una clara muestra de disminución y eliminación de espesores de hidrocarburo libre mayores a tres metros, por lo que fue posible considerar que tanto la zanja como los equipos de remoción de hidrocarburos contribuyeron a la mitigación del impacto generado.

Al comparar las ilustraciones Figura 3.42 y Figura 3.43 es posible ver poca variación en la pluma contaminante a pesar del inicio de aumento del régimen de lluvias en la zona, mientras que al observar de la Figura 3.44 a la Figura 3.47 se observa una ampliación de la pluma que pudiera atribuirse al ya marcado aumento en el régimen de lluvias durante el segundo semestre de 2011.

Figura 3.42 Pluma contaminante 25 de abril de 2011



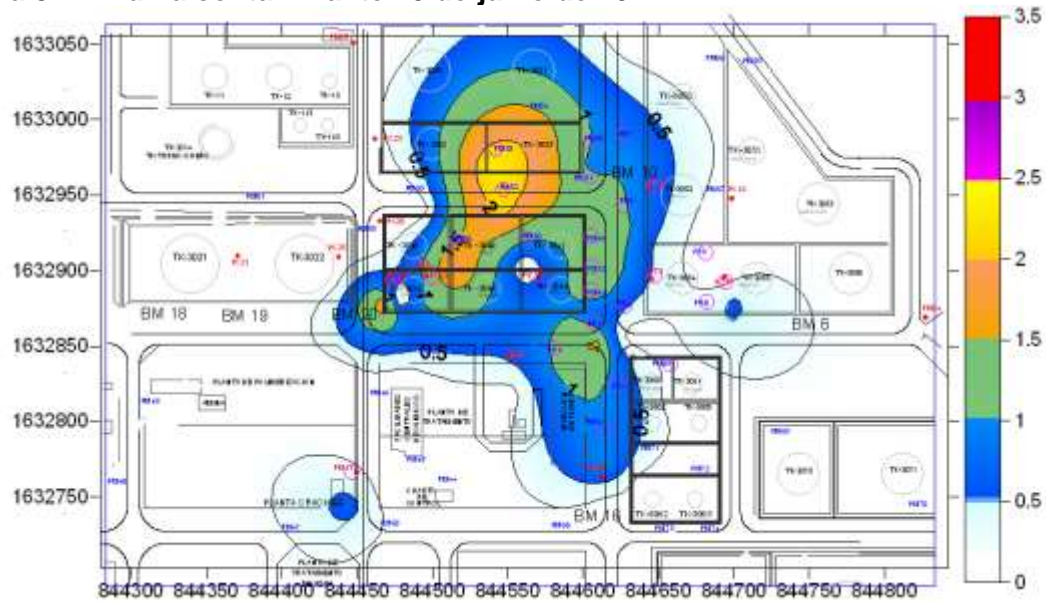
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.43 Pluma contaminante 30 de mayo de 2011



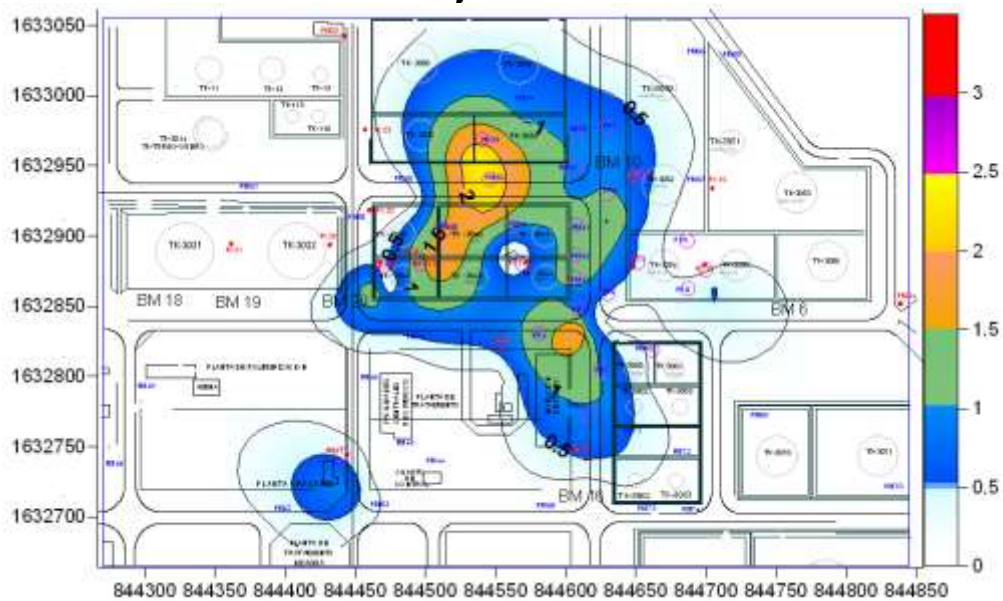
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.44 Pluma contaminante 20 de junio de 2011



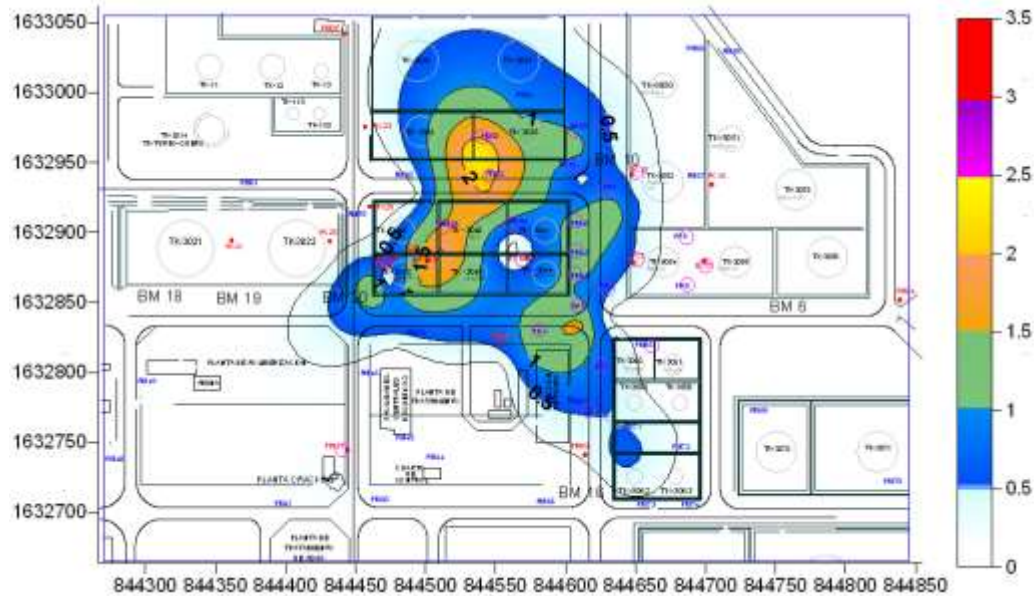
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.45 Pluma contaminante 18 de julio de 2011



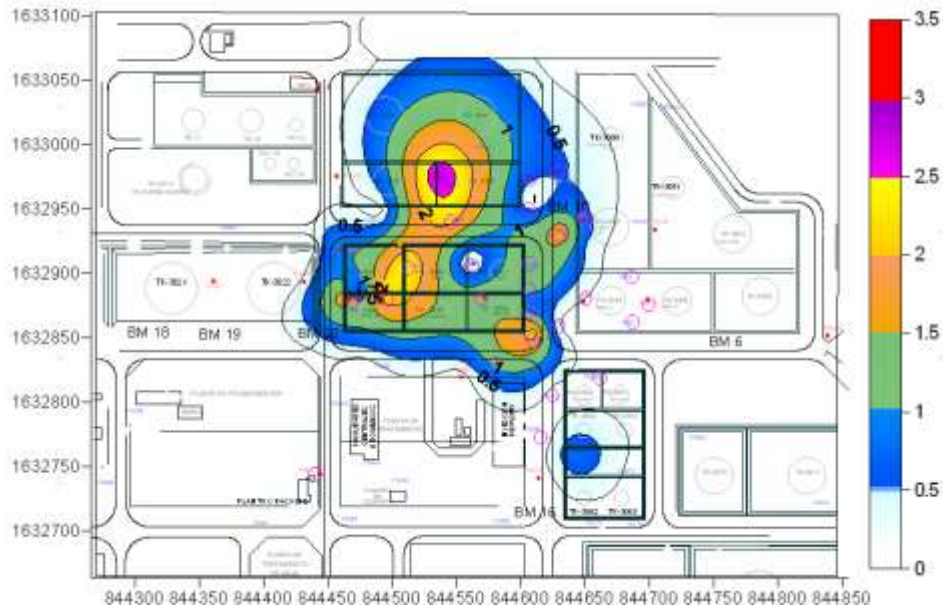
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.46 Pluma contaminante 29 de agosto de 2011



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.47 Pluma contaminante 19 de diciembre de 2011



Fuente: Ecopetrol, 2017

De la Figura 3.48 a la Figura 3.55 se observa el comportamiento de la pluma contaminante en los años 2012 y 2013, donde es evidente que la carga contaminante baja tanto en concentración como espacialmente, debido a que en el año 2012 se realiza la

construcción de la infraestructura necesaria para la ubicación de un sistema de almacenamiento temporal de hidrocarburo con sus respectivas conexiones hacia un sistema de extracción de producto (bombeo) el cual se instaló en una zanja remedial.

Figura 3.48 Pluma contaminante 24 de enero de 2012



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.49 Pluma contaminante 25 de junio de 2012



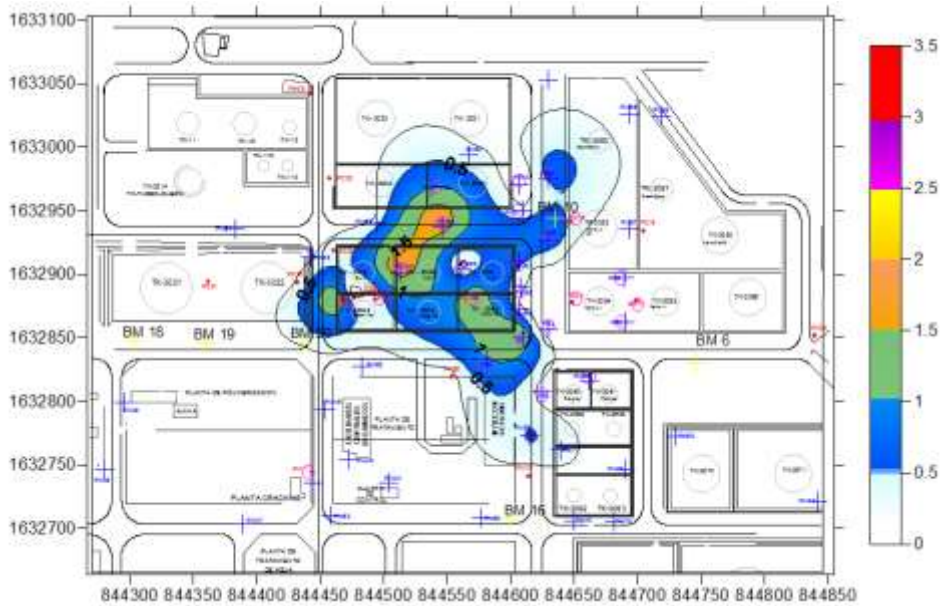
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.50 Pluma contaminante 19 de noviembre de 2012



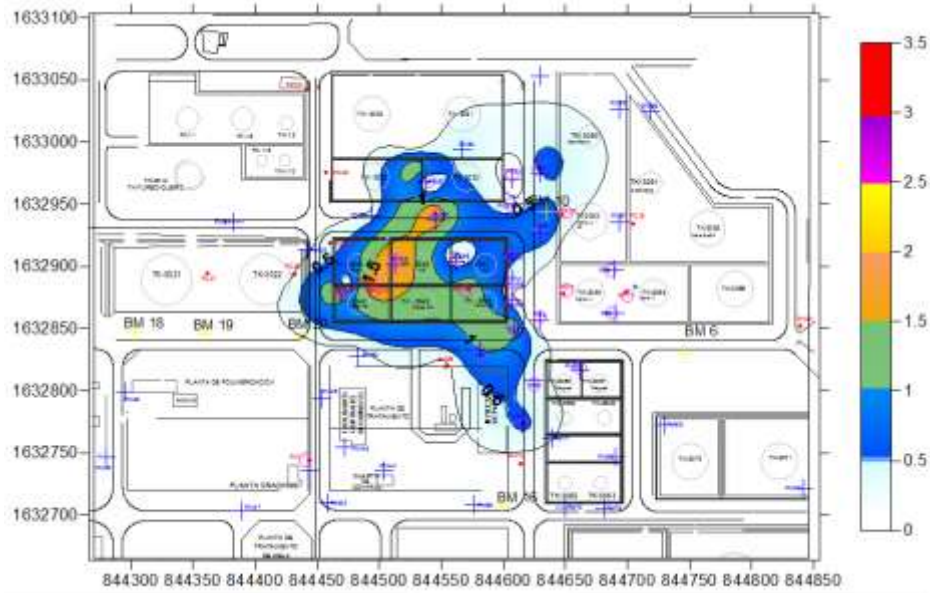
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.51 Pluma contaminante 17 de diciembre de 2012



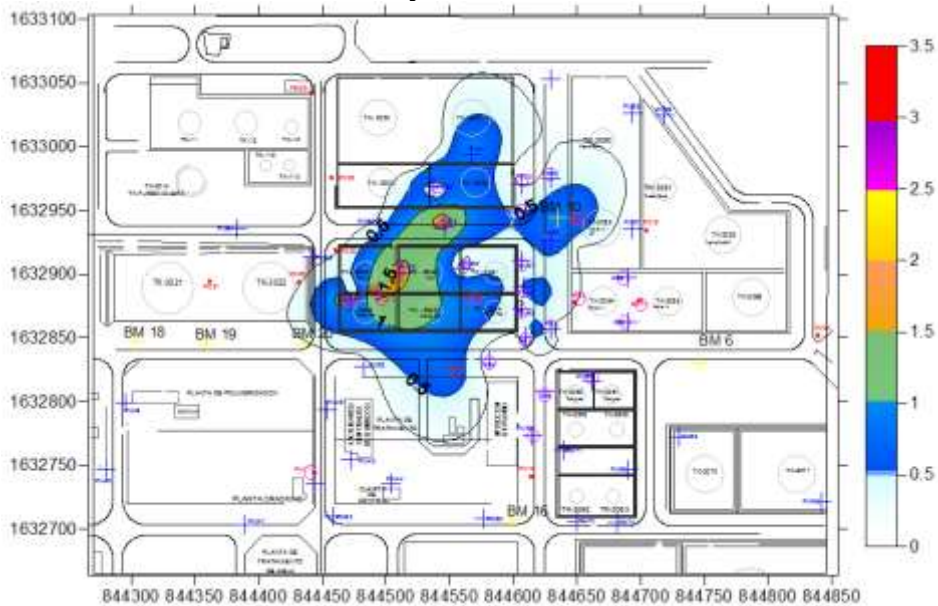
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.52 Pluma contaminante 14 de enero de 2013



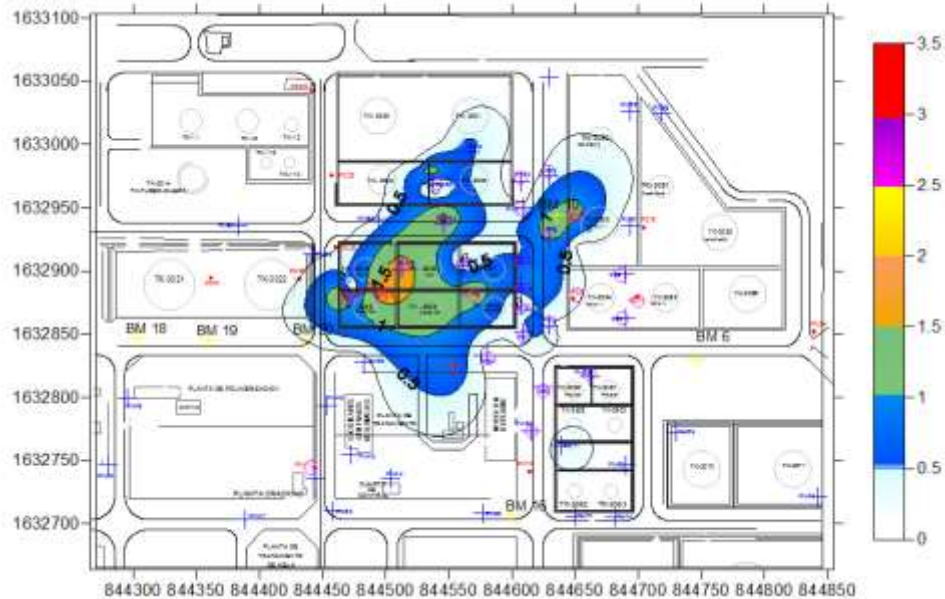
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.53 Pluma contaminante 8 de julio de 2013



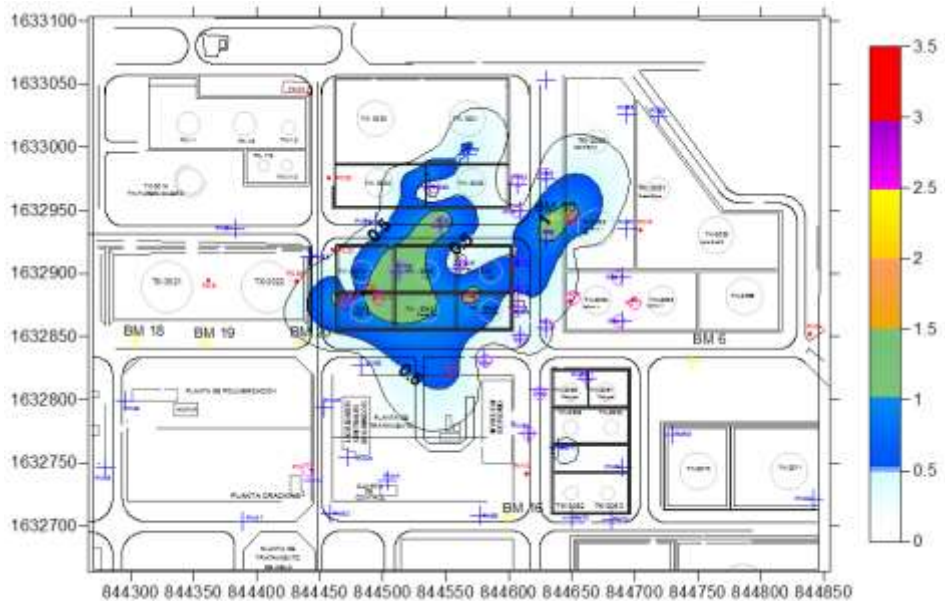
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.54 Pluma contaminante 20 de noviembre de 2013



Fuente: Ecopetrol, 2017

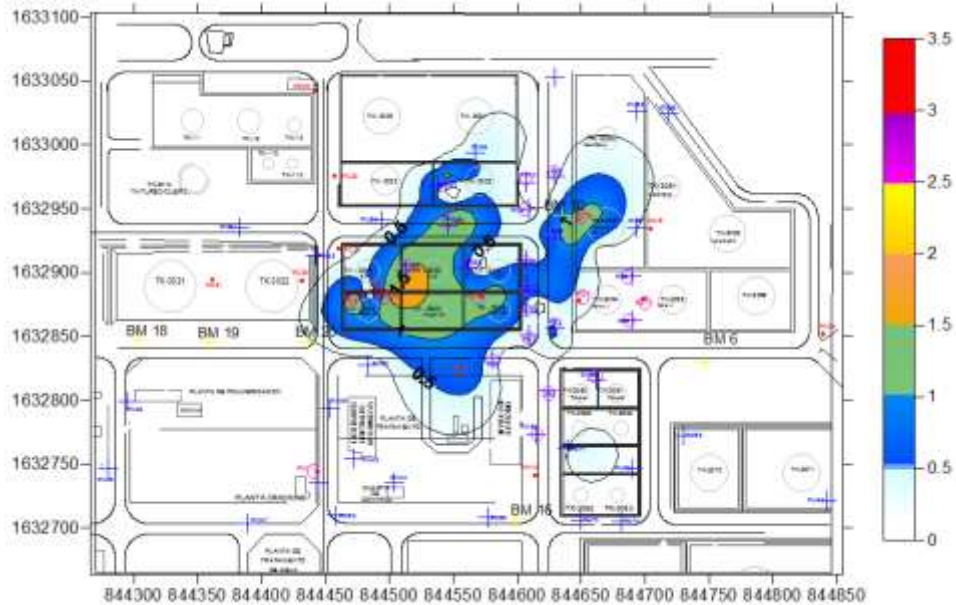
Figura 3.55 Pluma contaminante 23 de diciembre de 2013



Fuente: Ecopetrol, 2017

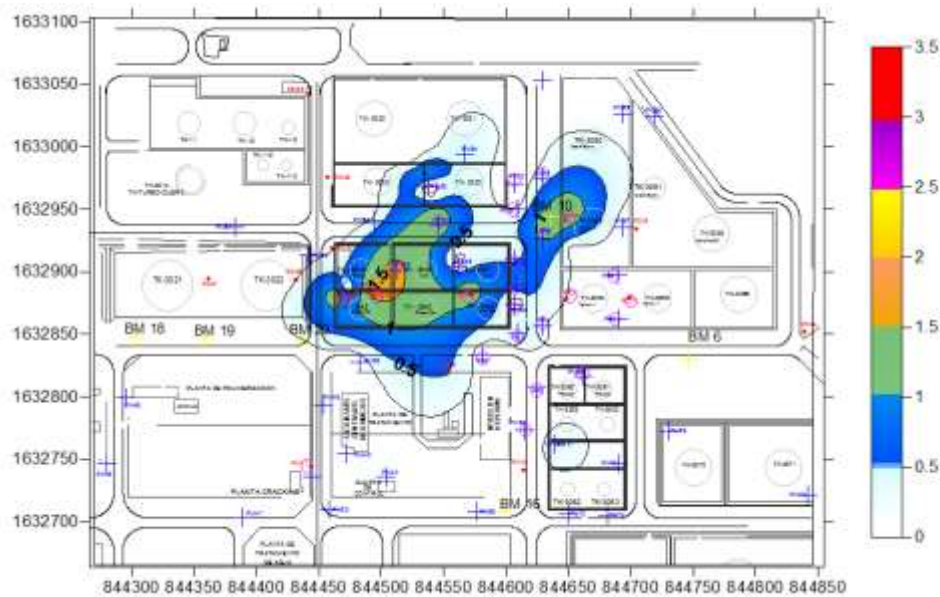
De la Figura 3.56 a la Figura 3.67 nos muestra el comportamiento de la pluma durante el año 2014, evidenciándose una variación mes a mes donde se observa una reducción del área de la pluma contaminante.

Figura 3.56 Pluma contaminante 14 de enero de 2014



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.57 Pluma contaminante 11 de febrero de 2014



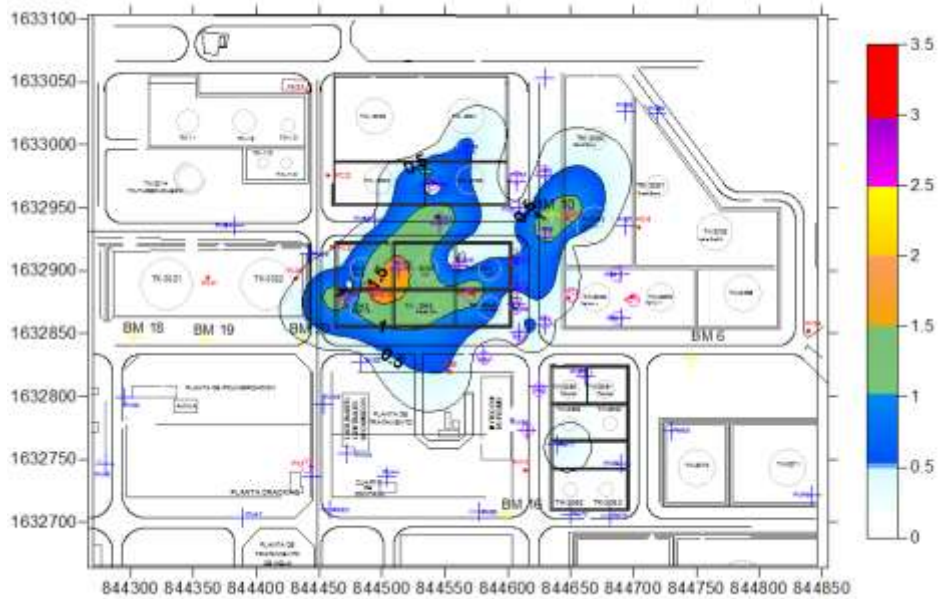
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.58 Pluma contaminante 11 de marzo de 2014



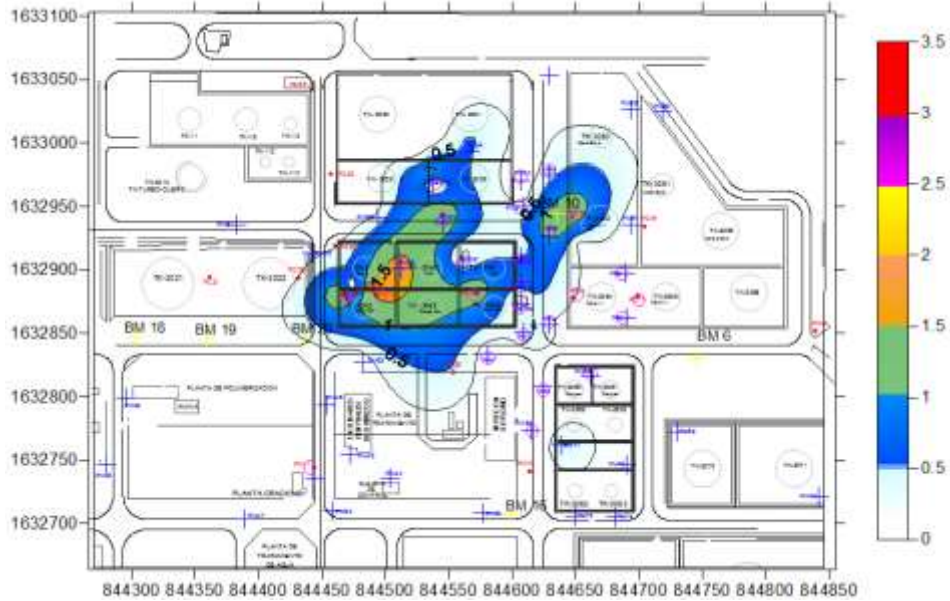
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.59 Pluma contaminante 09 de abril de 2014



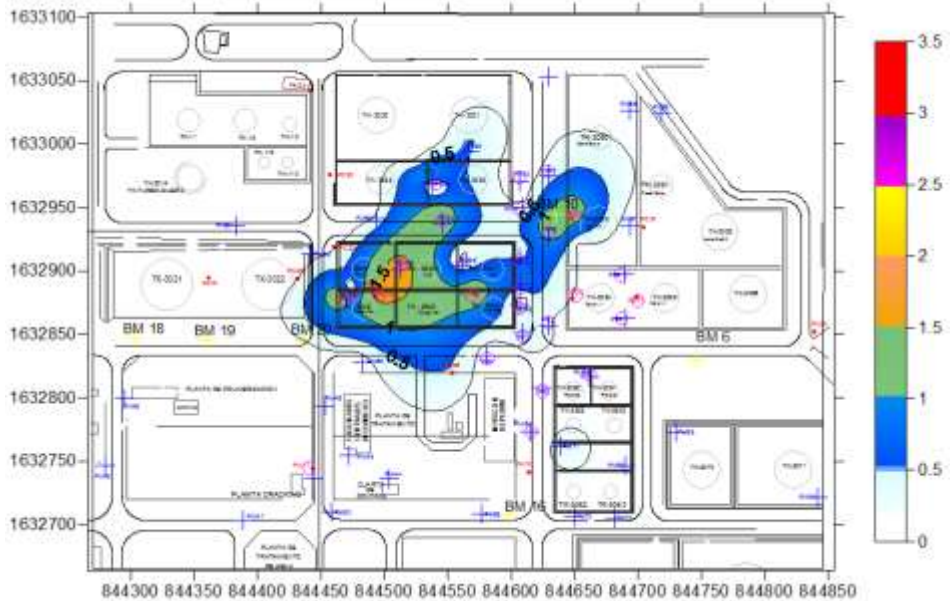
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.60 Pluma contaminante 13 de mayo de 2014



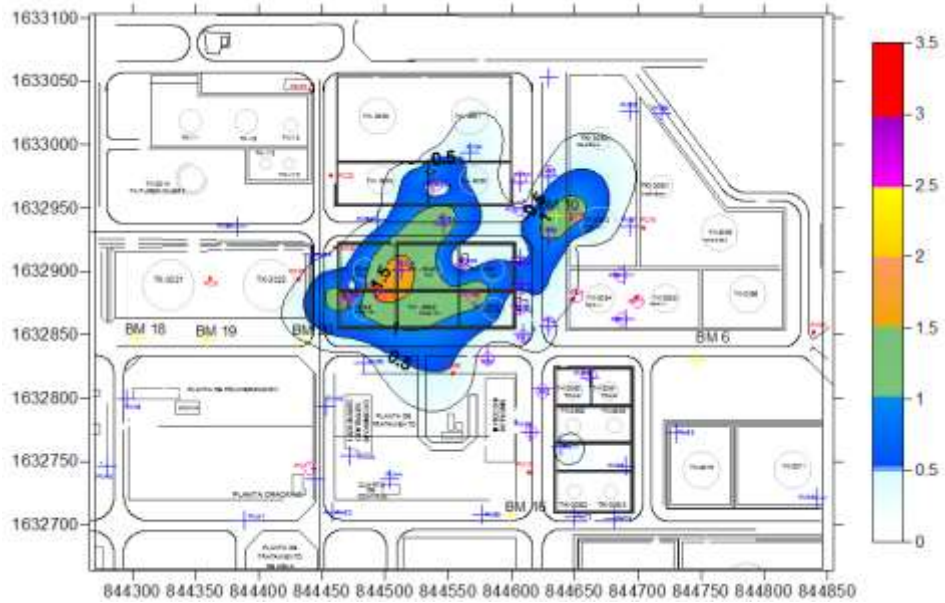
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.61 Pluma contaminante 10 de junio de 2014



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.64 Pluma contaminante 9 de septiembre de 2014



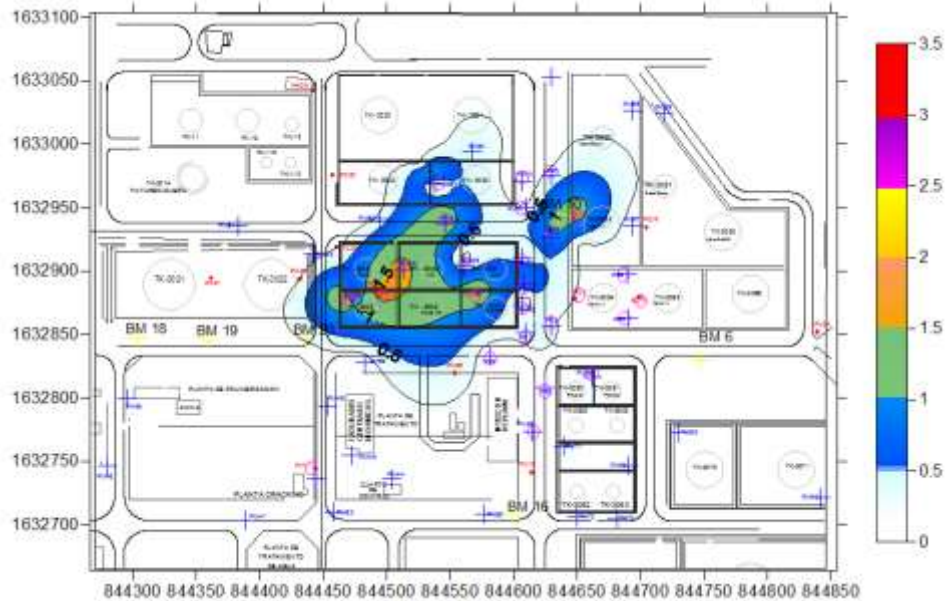
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.65 Pluma contaminante 7 de octubre de 2014



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.66 Pluma contaminante noviembre de 2014



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.67 Pluma contaminante 11 de diciembre de 2014

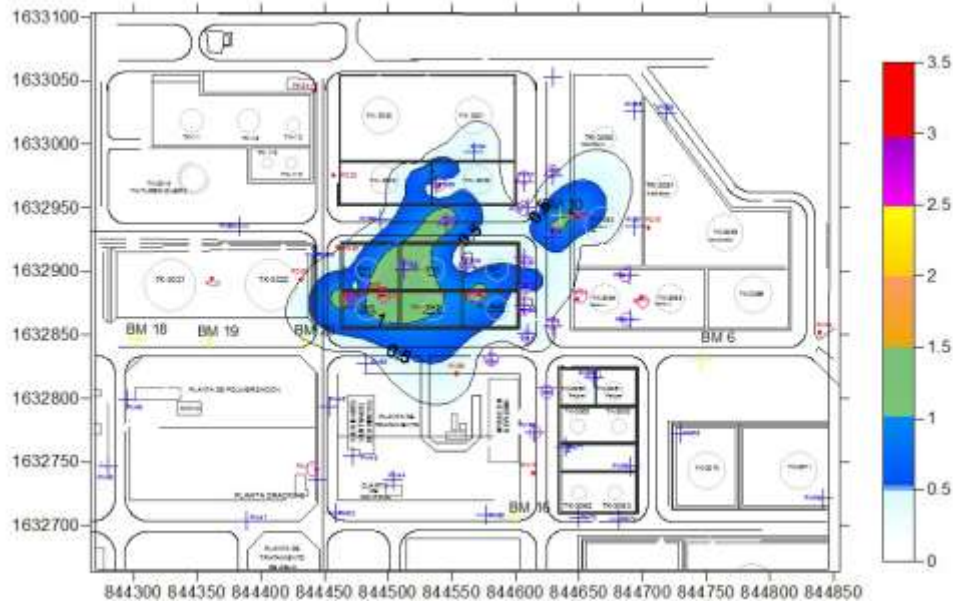


Fuente: Ecopetrol, 2017

Entre la Figura 3.68 y Figura 3.75 se muestran la variación trimestral de la pluma contaminante durante los años 2015 y 2016, continua evidenciándose reducción del área de la pluma contaminante aunque la mismas de manera leve; comportamiento esperado debido a los grandes movimientos de tierra producto de las construcciones del proyecto de expansión de la Refinería los cuales modificarían en cierta forma las líneas de flujo de

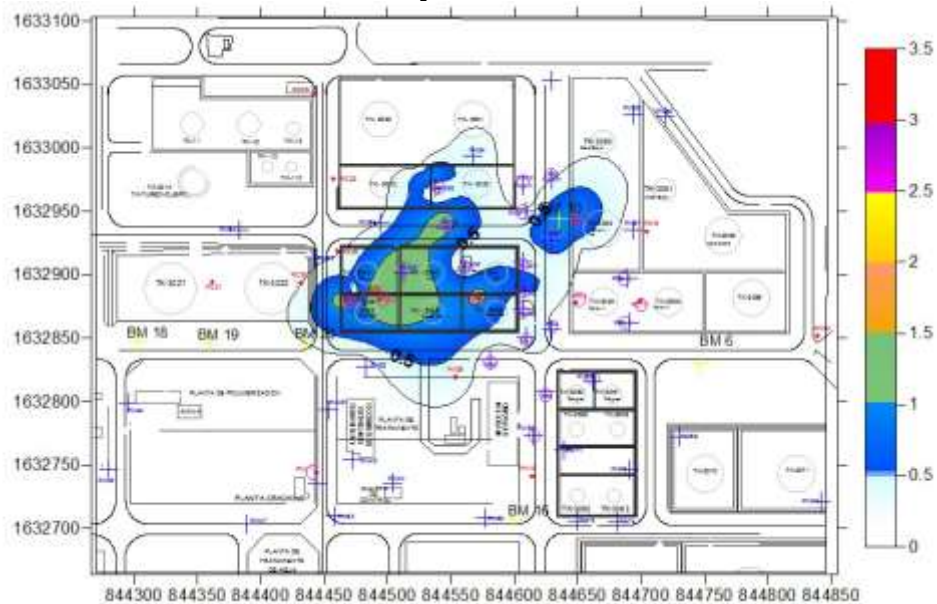
las aguas subterráneas en la zona. Igualmente debido a la disminución del hidrocarburo presente se puede generar menos flujo. (Ecopetrol S.A, 2017)

Figura 3.68 Pluma contaminante 24 de marzo de 2015



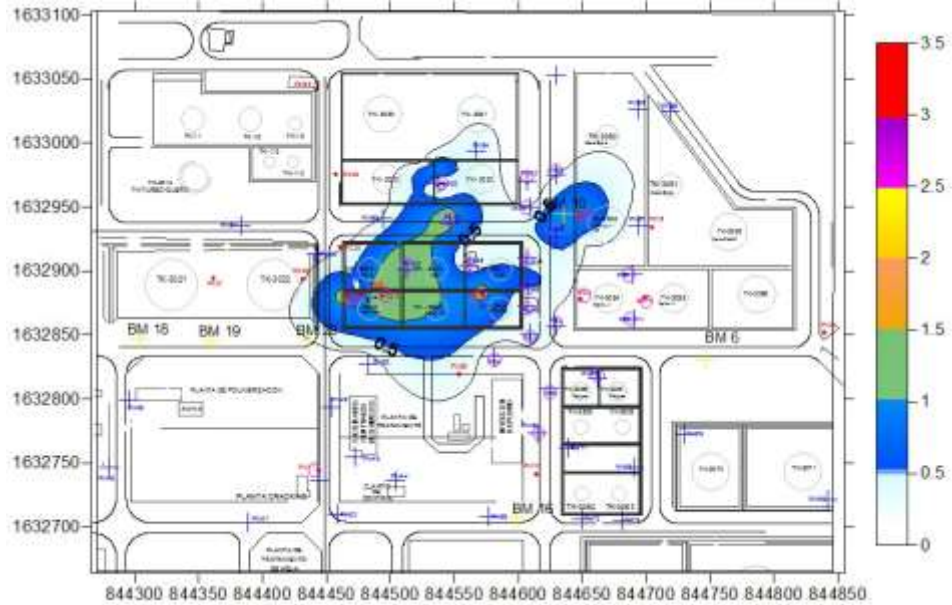
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.69 Pluma contaminante 22 de junio de 2015



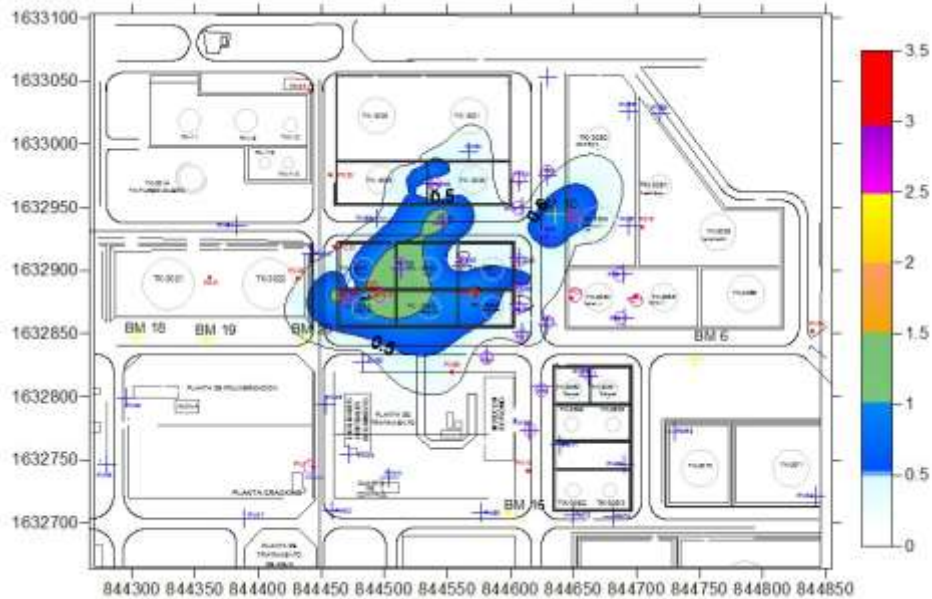
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.70 Pluma contaminante 21 de septiembre de 2015



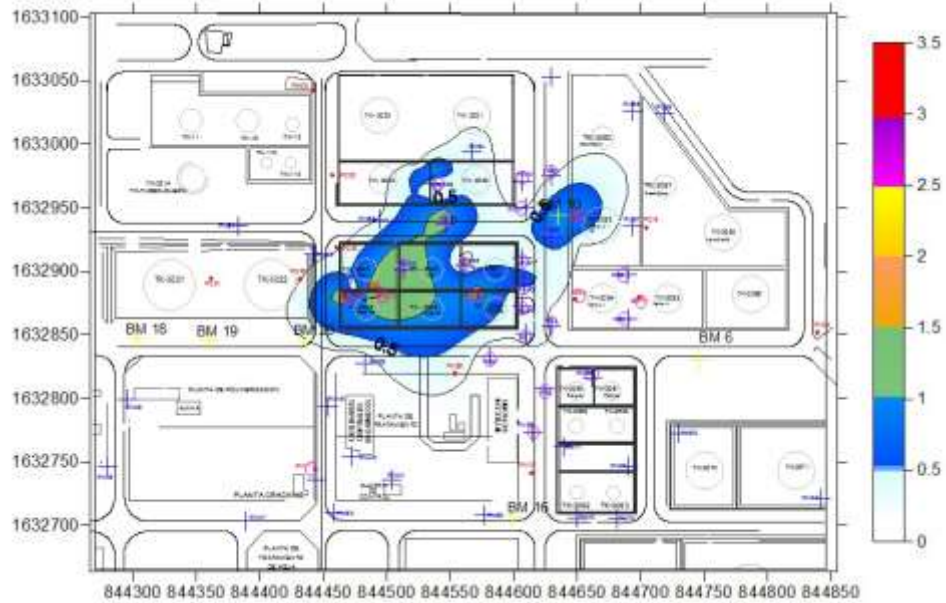
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.71 Pluma contaminante 21 de diciembre de 2015



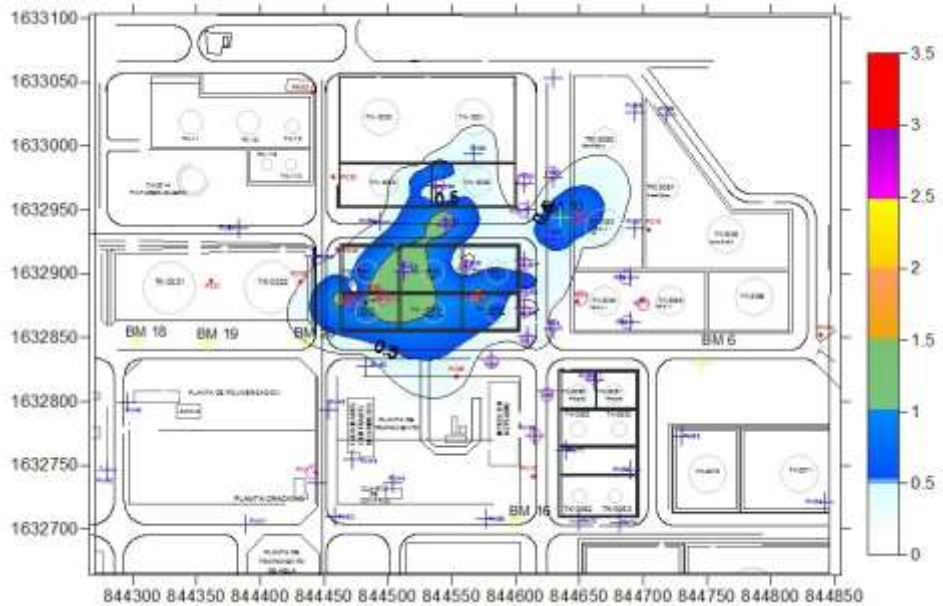
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.72 Pluma contaminante 22 de marzo de 2016



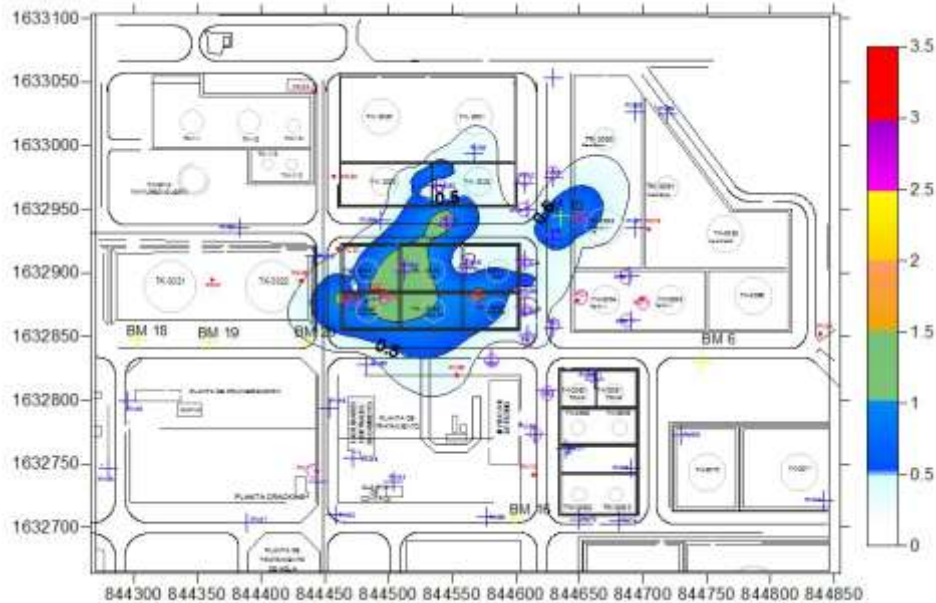
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.73 Pluma contaminante 20 de junio de 2016



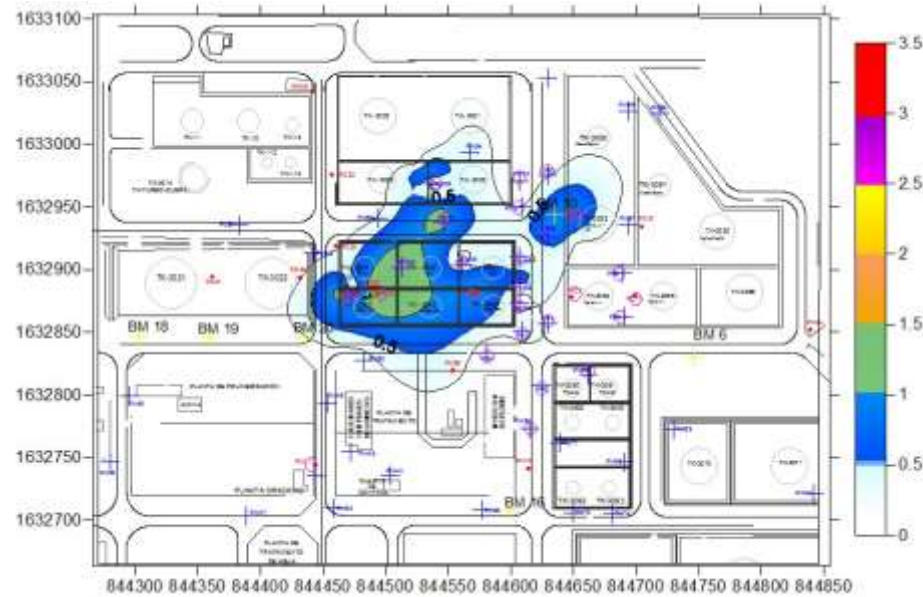
Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.74 Pluma contaminante 19 de septiembre de 2016



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.75 Pluma contaminante 19 de diciembre de 2016



Fuente: Ecopetrol, 2017

En la Figura 3.76 se observa el comportamiento histórico de la pluma, donde se evidencia que a partir del año 2009 hasta el año 2016, el área contaminada ha tenido una disminución considerable.

Figura 3.76 Comportamiento histórico de la pluma contaminante



Fuente: Ecopetrol, 2017

3.2.7.5 Zonas de recarga y descarga

Se han identificado en el área de influencia como principales mecanismos de recarga, la infiltración de agua de escorrentía, la precipitación para los acuíferos Cuaternarios y para las zonas donde afloran las unidades hidrogeológicas con mayor capacidad de almacenamiento.

La descarga del agua subterránea ocurre por medio del flujo base en los principales cauces de los ríos principales a los que están asociados los acuíferos porosos, que es el Arroyo Grande, regionalmente las aguas subterráneas tienen interconexión con el mar caribe donde ocurre la mayor área de descarga en la zona.

Para determinar las zonas de recarga en el área de estudio se realizó el método (Matus, 2007), que está basado en dar ponderaciones de 1 a 5 para los siguientes parámetros: Pendiente (Pend), Tipo de suelo (Ts), tipo de roca (Tr), cobertura vegetal permanente (Cve) y el uso del suelo (Us); con base en estas ponderaciones se obtuvo el mapa de zonas de recarga potenciales para el área de estudio Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Variables y evaluación de zonas de recarga

Pendiente (Pend)			
Descripción	%	Ponderación	Posibilidad de recarga
Planos a casi planos	0-7	5	Muy Alta
Moderadamente ondulados	7-12.	4	Alta
Ondulados/cóncavos	12-50	3	Moderada

Escarpados	50-75	2	Baja
Fuertemente escarpados	>75	1	Muy Baja
Tipo de Suelo (Ts)			
Textura		Ponderación	Posibilidad de recarga
Suelos franco-arenosos a arenosos.		5	Muy Alta
Suelos francos		4	Alta
Suelos franco-limosos		3	Moderada
Suelos Franco arcillosos		2	Baja
Suelos arcillosos		1	Muy Baja
Tipo de roca (Tr)			
Textura		Ponderación	Posibilidad de recarga
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados		5	Muy Alta
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre si, ej arenas finas.		4	Alta
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si		3	Moderada
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si		2	Baja
Rocas impermeables		1	Muy Baja
Cobertura vegetal permanente (Cve)			
Porcentaje		Ponderación	Posibilidad de recarga
>80%		5	Muy Alta
70-80%		4	Alta
50-70%		3	Moderada
30-50%		2	Baja
<30%		1	Muy Baja
Uso de suelo (Us)			
Uso de suelo		Ponderación	Posibilidad de recarga
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas		5	Muy Alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles		4	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo		3	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua		2	Baja
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo		1	Muy Baja

Modificado de: (Matus, 2007)

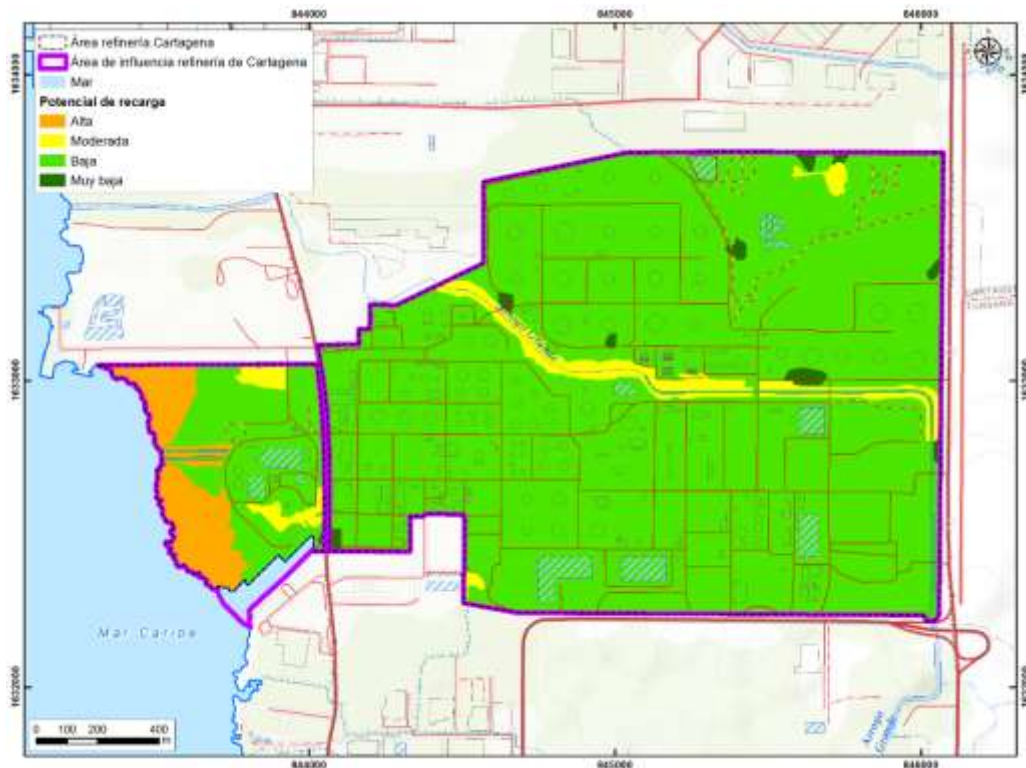
Luego de realizar la calificación y la ponderación a cada una de estas variables se aplica la siguiente relación para obtener la zona potencial de recarga:

$$ZR = (0.27*Pend) + (0.23*TS) + (0.12*Tr) + (0.25*Cve) + (0.13*Us)$$

Como resultado final obtenemos una escala entre 1 y 5 con valores de posibilidad de recarga desde muy baja hasta muy alta, la Figura 3.77 muestra las zonas de recarga potencial para el área de influencia), el mayor porcentaje del área corresponde a zonas de recarga muy baja dadas las características de suelos, uso del suelo, cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente y tipo de roca, en la Figura 3.78 se presentan los porcentajes de las zonas de recarga potencial en el área de influencia.

En el Anexo 3 Caracterización ambiental, 3.1 Aspectos Abióticos, 3.2.7 Hidrogeología, se presentan las calificaciones para cada una de las variables para determinar zonas de recarga potencial.

Figura 3.77 Distribución espacial de las zonas de recarga potenciales para el área de influencia



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.78 Porcentajes de recarga potencial en el área de influencia



Fuente: Concol By WSP, 2019

3.2.7.6 Direcciones de flujo

En el año 2009 se realizó la modelación del flujo de las aguas subterráneas en la Refinería de Cartagena, desde entonces se ha venido realizando los monitoreos en cada uno de los pozos, con el fin de actualizar la información y ver su comportamiento con el tiempo, este ha mantenido una conducta similar, por lo que las direcciones del flujo siguen teniendo el mismo comportamiento, es decir una dirección preferencial hacia el mar.

3.2.7.6.1 Modelo matemático de flujo local.

El modelo de flujo para la Refinería de Cartagena se desarrolló con el software Visual MODFLOW Pro de Waterloo Hydrogeologic. Se definió una malla variable de 148 filas por 136 columnas (siendo más densa dentro del área de estudio), con una precisión de resultados de 8 X 7 m dentro del área de estudio. De acuerdo con los datos reportados por la prueba de conductividad hidráulica realizadas en los pozos de monitoreo, se fijó a cada unidad hidroestatigráfica un valor de conductividad hidráulica en las tres direcciones, coeficiente de almacenamiento y porosidad (total y efectiva) de acuerdo con los valores definidos previamente. (Ecopetrol S.A, 2017)

Para algunas de las unidades y debido a la carencia de información se asumieron ciertos parámetros dentro de los rangos normales de incertidumbre, aun así, durante el proceso de calibración del modelo en estado estacionario se evaluó la respuesta de este al cambio de estos parámetros. Los valores finales empleados se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13 Propiedades geo hidráulicas empleadas

N Capa	Kx=Ky (m/d)	Kz (M/d)	Ss	Sy	Φ Total	Φ Efectiva
1	0,01	0,001	1e-05	0,15	0,15	0,1
2	0,05	0,005	1e-05	0,15	0,15	0,1
3	0,5	0,05	1e-05	0,15	0,15	0,1
4	0,1	0,01	1e-05	0,15	0,15	0,1

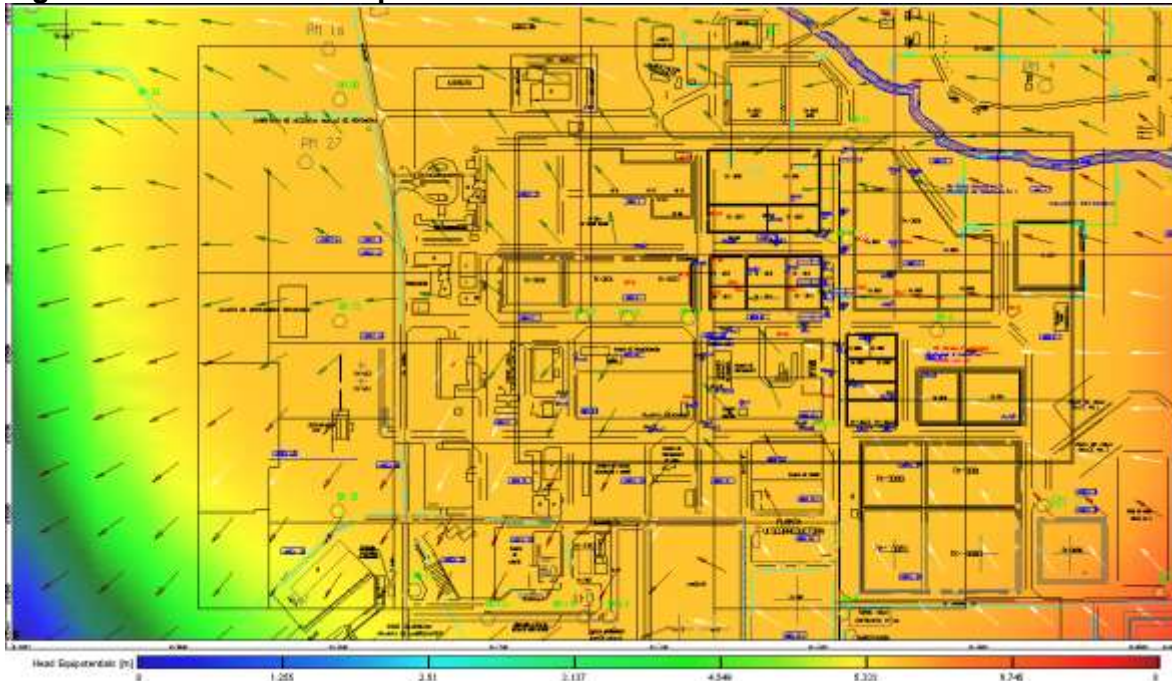
Fuente: Ecopetrol, 2017

Una vez discretizado el modelo matemático se procedió a su corrida en estado estacionario, empleando para su calibración los pozos de monitoreo construidos. Los resultados obtenidos a nivel real se muestran en la Figura 3.79, en esta figura se evidencia que la dirección de flujo subterráneo se dirige al mar caribe, y en la Figura 3.80 un corte transversal dentro del área de influencia donde se evidencia las direcciones de flujo tanto vertical como horizontalmente.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

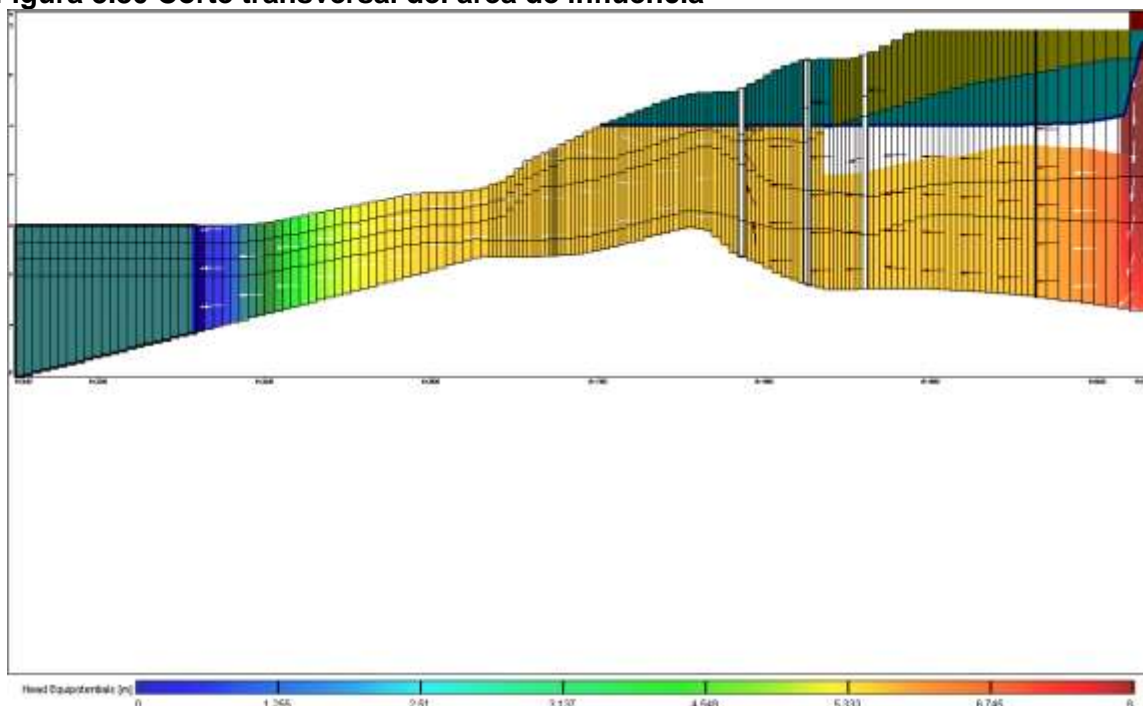
La dirección de flujo es hacia el Arroyo Grande y hacia la costa (Bahía de Cartagena). El error medio obtenido fue de 96.3 cm, el error estándar estimado fue de 19 cm y la máxima desviación (PM 48) fue de 2.05 m. La velocidad máxima de flujo es de 0.16 m/d. (Ecopetrol S.A, 2017).

Figura 3.79 Resultados en planta en estado estacionario



Fuente: Ecopetrol, 2017

Figura 3.80 Corte transversal del área de influencia



Fuente: Ecopetrol, 2017

3.2.7.7 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se define como la facilidad con la cual ingresan sustancias que puedan afectar la calidad de agua subterránea siendo penetradas por una carga contaminante mediante infiltración a través del suelo y/o la zona no saturada.

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, se valoró cuantitativamente cada uno de los siguientes parámetros: naturaleza litológica de la zona no saturada, condición de confinamiento y profundidad de la tabla de agua, calificando cada uno de estos parámetros utilizando el sistema de indexación GOD, propuesto por (Foster, 1987) (Ver Tabla 3.14).

- i. Parámetro "G": Se refiere a la condición de confinamiento del acuífero más superficial, y establece las siguientes categorías: no confinado, no confinado-cubierto, semiconfinado, confinado, surgente sin presencia de acuífero.
- ii. Parámetro "O": Este parámetro incluye una caracterización global de la zona saturada para acuíferos libres, o del estado confinante, para acuíferos confinados. Se valora la naturaleza litológica, el grado de consolidación y el fracturamiento de la roca.
- iii. Parámetro "D": Profundidad del nivel freático para los acuíferos libres, o el techo para los acuíferos de tipo semiconfinado o confinado.

Tabla 3.14 Valoraciones parámetros método GOD

Ocurrencia del agua subterránea "G"					
Ninguno					0
Surgente					0.1
Confinado					0.2
Semiconfinado					0.3
No Confinado (cubierto)					0.5
Libre					1
Litología predominante sobre el acuífero "O"					
No Consolidados	Consolidados (Rocas porosas)		Consolidados (Rocas masivas)		Ponderación
Arcillas					0.4
Limos	Arcillolitas				0.5
	Lutitas				
Gravas con matriz arcillosa	Limolitas		Complejos ígneos, metamórficos, volcánicos antiguos		0.6
Arcilla/Grava y/o Arena (intercalaciones)	Areniscas				Lavas volcánicas recientes
	Tobas volcánicas				
Arenas	Litoarenitas				0.8
Gravas	Calcarenitas				0.9
	Calizas Blandas				
			Caliche		1.0
			Otras calizas duras		
Profundidad del agua "D"					
> 100m					0.4
50 – 100m					0.5
20 – 50m					0.6
10 – 20m					0.7
5 – 10m					0.8
2 – 5m					0.9
0 – 2m					1.0
Grado de vulnerabilidad a la contaminación "GOD"	Despreciable	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	0 – 0.1	0.1 – 0.3	0.3 – 0.5	0.5 – 0.7	0.7 – 1

Fuente: Adaptado de Ingeominas, 2003 en Foster (1987)

Se definen las siguientes categorías de vulnerabilidad, de acuerdo con el método de indexación GOD:

- i. Acuíferos con Vulnerabilidad Muy Alta (índices entre 0,7 y 1,0), son vulnerables a la mayoría de los contaminantes y con impacto relativamente rápido, para la mayoría de los escenarios de contaminación.
- ii. Acuíferos con Vulnerabilidad Alta (índices entre 0,5 y 0,7), son vulnerables a muchos contaminantes, excepto a los que son rápida y fácilmente biodegradables, se da muchos escenarios de contaminación.
- iii. Acuíferos con Vulnerabilidad Moderada (índices entre 0,3 y 0,5), son vulnerables a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
- iv. Acuíferos con Vulnerabilidad Baja (índices entre 0,1 y 0,3) son vulnerables a contaminantes muy móviles y/o persistentes y a eventos de contaminación continuos durante largos periodos de tiempo.
- v. Acuíferos con Despreciable Vulnerabilidad (índices entre 0 y 0,1), las capas

confinantes representan un obstáculo que dificulta un flujo significativo hacia el acuífero.

El método “GOD” establece escalas de valores para cada parámetro de acuerdo con su contribución en la defensa de los acuíferos a la contaminación. Estas tienen valores entre cero (0) y uno (1), siendo los valores más bajos los que más retienen o atenúan el transporte de contaminantes. La evaluación de la vulnerabilidad se determina multiplicando los valores dados a cada parámetro obteniendo valores entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) significa vulnerabilidad nula y uno (1) vulnerabilidad muy alta a la contaminación.

Cabe aclarar que la metodología “GOD” se encamina a estudiar los acuíferos más someros o la parte más superficial de los acuíferos de interés, ya que se considera que las características de la zona no saturada son las que finalmente determinan el grado de protección, porque son las más susceptibles a ser afectadas adversamente por una carga contaminante y una vez contaminadas, este fenómeno se puede inducir fácilmente a los horizontes profundos (INGEOMINAS, 2003).

3.2.7.7.1 Determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación

Las ponderaciones para cada parámetro con las que se determinó la vulnerabilidad de los acuíferos a ser contaminados esto se resumen a continuación:

- **Ocurrencia del agua subterránea “G”**

El parámetro “G” analiza el acuífero más somero a partir de la información de litología de pozos, aljibes someros, y manantiales realizados en el estudio y soportado con el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, que delimita las zonas de recarga, asumiendo estas áreas como acuíferos libres; estableciendo de esta manera la categorización del acuífero de acuerdo con su condición de confinamiento. Esta metodología establece que cuando no existe certeza sobre la continuidad lateral de los acuíferos o no están conectados hidráulicamente estos deben asumirse como acuíferos libres.

En la Tabla 3.15 se presenta la ponderación del parámetro y la distribución del área en hectáreas y porcentajes.

Tabla 3.15 Distribución del Parámetro “G” en el área de influencia

Confinamiento del acuífero	Valor “G”	Área de influencia	
		(Ha)	(%)
Depósitos Aluviales recientes (Qalr) Depósitos de Playa (Qmp) Formación Bayunca (Ngb)	1	33,18	10,96
Depósitos de Manglar (Qmm) Depósitos de Llanura Costera (Qfl)	0,5	267,1	88,26
Mar	N. A.	2,35	0,78
TOTAL		302,64	100,00

Fuente: Concol By WSP, 2019

- **Litología predominante sobre el acuífero “O”**

El parámetro “O” se obtiene a partir de las descripciones de las unidades litoestratigráficas y de la cartografía geológica realizada para el presente estudio; en donde predominan en superficie rocas pertenecientes a complejos Ígneo-metamórficos.

A continuación, en la Tabla 3.16 se presenta la ponderación del parámetro, con sus áreas y porcentajes, unidades geológicas y su respectiva descripción.

Tabla 3.16 Valor de parámetro “O” asignado

Unidad Geológica	Litología del acuífero	Valor Parámetro “O”	Área de influencia	
			(Ha)	(%)
Depósitos Aluviales recientes (Qalr)	Sedimentos asociados al lecho actual de los caños y ríos constituidos por arenas de grano fino a medio con cuarzo, y arcillas limosas con materia orgánica.	0,7	3,96	1,31%
Depósitos de Llanura Costera (Qfl)	Está constituido por depósitos clásticos de arenas depositas y retrabajadas en la zona intermareal, y por depósitos de tamaño limoarcilloso.	0,6	255,67	84,48%
Depósitos de Playa (Qmp)	Constan de arenas de grano fino a grueso, ocasionalmente presenta gravas, son de color ocre y gris.	0,8	26,25	8,67%
Depósitos de Manglar (Qmm)	Están localizados en la parte occidental del área de estudio, están constituidos de arenas finas, limos y lodos.	0,5	11,43	3,78%
Formación Bayunca (Ngb)	Constituida por una secuencia de lodolitas gris oscuras, claras y negras, con niveles de oxidación de color amarillo, hacia la parte superior de la unidad hay intercalaciones de areniscas de cuarzo, gris claro y amarillo claro, de grano fino hasta conglomeráticas	0,7	2,97	0,98%
Mar	Mar	N.A	2,35	0,78%
Total			302,64	100,00%

Fuente: Concol By WSP, 2019

- **Profundidad de la tabla de agua “D”**

Para la determinación del parámetro se utilizó la información de los niveles de agua subterránea de captaciones más someras correspondientes al inventario de puntos, entre ellos aljibes y pozos donde sus niveles varían entre 0 y 50 m.

En la Tabla 3.17 se presentan la distribución por área de la profundidad de la tabla de agua encontradas en la zona.

Tabla 3.17 Valor del parámetro “D” asignados

Unidad Hidrogeológica	Profundidad (m)	Ponderación	Área de influencia	
			(HA)	(%)
Formación Bayunca (Ngb)	10 – 20 m	0,7	2,97	0,98
Depósitos Aluviales recientes (Qalr) Depósitos de Llanura Costera (Qfl) Depósitos de Playa (Qmp) Depósitos de Manglar (Qmm)	2 – 5 m	0,9	297,31	98,24
Mar	N. A.	N. A.	2,35	0,78
TOTAL			302,64	100,00

Fuente: Concol By WSP, 2019

Finalmente se obtiene el resultado final del análisis de vulnerabilidad a la contaminación de los sistemas acuíferos por las actividades del proyecto donde se prevé haya lugar a actividades que generen la probabilidad de afectación teniendo en cuenta los términos de referencia HI-TER-1-07 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2006, y la Metodología general para la presentación de estudios Ambientales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2010.

En la Tabla 3.18 se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad utilizando el método GOD, los acuíferos con mayor vulnerabilidad son los Depósitos Cuaternarios no consolidados, con vulnerabilidad a la contaminación alta, donde la tabla de agua no supera los 5 metros en, los sedimentos están compuestos por arenas, gravas y arcillas, y se comportan como acuíferos libres, de extensión local.

La Formación Bayunca (Ngb) se clasifica como vulnerabilidad moderada dado su litología, el techo de esta formación se comporta como un acuífero libre y la tabla de agua se encuentra alrededor de los 10 metros.

Por último, tenemos los sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea, la vulnerabilidad de esta unidad sugiere un nivel bajo dado sus características litológicas y la ocurrencia de esta en el contexto hidrogeológico.

Tabla 3.18 Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas Acuíferos

Acuífero	G	O	D	GOD	Área de influencia		Vulnerabilidad
					(HA)	(%)	
Depósitos Aluviales recientes (Qalr)	1	0,7	0,9	0,63	3,96	1,31%	Alta
Depósitos de Llanura Costera (Qfl)	0,5	0,6	0,9	0,27	255,67	84,48%	Baja
Depósitos de Playa (Qmp)	1	0,8	0,8	0,64	26,25	8,67%	Alta
Depósitos de Manglar (Qmm)	0,5	0,5	0,9	0,225	11,43	3,78%	Baja
Formación Bayunca (Ngb)	1	0,7	0,7	0,49	2,97	0,98%	Moderada
Mar	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2,35	0,78%	N.A.
Total					302,64	100,00	

Fuente: Concol By WSP, 2019

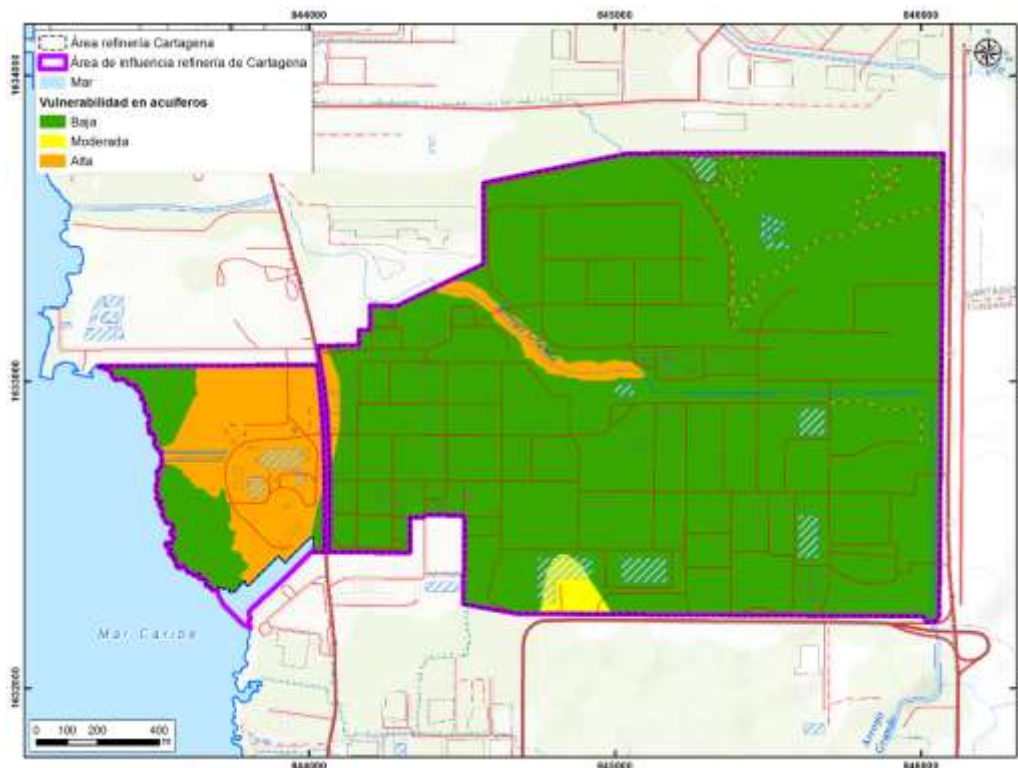
Teniendo en cuenta este análisis de vulnerabilidad se tiene que el 88,26% del área de influencia tiene una vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos Baja, un 0,98% sugiere una vulnerabilidad moderada, un 9,98% del área tiene una vulnerabilidad alta, mientras la zona de mar tiene una participación del 0,78%. (Ver Figura 3.81 y Figura 3.82)

Figura 3.81 Porcentajes de vulnerabilidad a la contaminación de Acuíferos en el área de influencia



Fuente: Concol By WSP, 2019

Figura 3.82 Mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos para el área de influencia



Fuente: Concol By WSP, 2019

