



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL**

**CALIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DE LA REFINERÍA  
MIGUEL HIDALGO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA  
NUEVA REFINERÍA DE PEMEX– TULA, HIDALGO**

**PROYECTO TERMINAL IN EXTENSO**

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA: INGENIERÍA  
SANITARIA

**PRESENTA**

ING. CARLOS GALDEANO ALEXANDRES

TUTOR: M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE

México D.F. a 29 de Mayo del 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
ANTECEDENTES .....	1
PROBLEMÁTICA .....	2
OBJETIVOS .....	3
ESTRATEGIA METODOLÓGICA .....	4
<b>DESARROLLO.....</b>	<b>5</b>
CAPÍTULO 1 .....	5
1.1 Descripción y análisis de la situación de la Subcuenca Hidrológica del Río Tula y áreas colindantes .....	5
1.2 Investigación de los parámetros de calidad del agua que se presentaron en tres distintas épocas del año 2008 en la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo .....	8
CAPÍTULO 2 .....	9
2.1 Análisis y comparación de los parámetros de calidad del agua investigados .....	9
CAPÍTULO 3 .....	22
3.1 Cálculo del Índice de Calidad del Agua (Temporada de estiaje y Temporada de lluvias) .....	22
CAPÍTULO 4 .....	27
4.1 Análisis de Resultados y Conclusiones.....	27
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>30</b>

# **“CALIDAD DEL AGUA EN LA DESCARGA DE LA REFINERÍA MIGUEL HIDALGO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA REFINERÍA DE PEMEX– TULA, HIDALGO”.**

Carlos Galdeano Alexandres

## **RESUMEN**

La Refinería Miguel Hidalgo, localizada en el municipio de Tula Hidalgo, ha sido señalada como una de las principales fuentes de contaminación del agua en la zona de la subcuenca del Río Tula y alrededores. Se sabe que el principal tipo de contaminación de esta región, está constituido por material orgánico, algunos metales, sales y minerales, entre otros contaminantes.

Por esto, el objetivo de este proyecto terminal es investigar, analizar y concluir si los parámetros de calidad del agua en la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo se encuentran dentro de lo establecido por la normatividad mexicana. Así mismo, se busca revisar si el Índice de Calidad del Agua de la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo es adecuado para poder aprovechar el agua descargada en distintas actividades humanas.

## **INTRODUCCIÓN**

### **ANTECEDENTES**

Parte del territorio hidalguense constituye el drenaje natural de la cuenca del Valle de México y su área metropolitana. Es por esto que las Subcuencas del Río Tula, la del Río Salado y la del Río Tepeji son de las más afectadas en lo que se refiere a contaminación de aguas superficiales.

La contaminación del agua superficial de estas cuencas, comprendida dentro del Área de Influencia de la Refinería Miguel Hidalgo, está constituida por material orgánico, algunos metales, bacterias y detergentes, entre otros contaminantes. El origen de estos contaminantes lo constituye las aguas residuales que provienen de la zona metropolitana de la Ciudad de México, de las propias descargas municipales del Estado de Hidalgo, de la refinería Miguel Hidalgo, de la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, de las distintas cementeras, así como de otras industrias del corredor industrial Tula-Tepeji.

A pesar de ser varios los factores que contaminan la región antes descrita, la refinería Miguel Hidalgo, la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y las distintas cementeras de la región son las industrias señaladas como las principales culpables de la contaminación de la zona.

## **PROBLEMÁTICA**

La Subcuenca Hidrológica del Río Tula y áreas colindantes han estado recibiendo, desde principios de siglo, aguas negras procedentes de la Ciudad de México, con las cuales se han irrigado grandes extensiones de tierra cultivable. A pesar de efectos benéficos a la región como lo son la incorporación de vastas extensiones de terrenos improductivos y el incremento en la fertilidad del suelo (gracias al alto contenido de materia orgánica y elementos nutritivos que se han incorporado al suelo), la presencia de ciertos contaminantes (coliformes fecales, sales, metales, minerales, etc.) hacen que el agua superficial de la región no se pueda utilizar para el consumo humano. Así mismo, los distintos contaminantes procedentes de las industrias localizadas en la zona (Refinería, Termoeléctrica, Cementeras y demás plantas industriales en los parques industriales), han empeorado la situación de la calidad del agua superficial, utilizada en su mayor parte para riego agrícola. Debido a la cantidad de contaminantes (principalmente sales y metales) presentes en el agua descargada por las industrias, la calidad del suelo agrícola se puede llegar a ver afectada en su capacidad de cultivo.

## **OBJETIVOS**

Investigar, analizar y concluir si la descarga de agua de la refinería Miguel Hidalgo de Pemex, localizada en el municipio de Tula, Hidalgo, se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles y recomendados señalados en la normatividad mexicana. De la misma manera, se desea comprobar, a través del cálculo y análisis del Índice de Calidad del Agua, si la calidad del agua en la descarga de la refinería es adecuada para su aprovechamiento en diversas actividades humanas.

## **ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

Para lograr los objetivos planteados en este trabajo, en primera etapa se describirá y se analizará la situación en la Subcuenca Hidrológica del Río Tula y áreas colindantes. En esta etapa, también, se mostrará la investigación de los parámetros de calidad del agua que se presentaron en tres distintas épocas del año 2008.

En la segunda etapa, se revisará, analizará y compararán los parámetros de calidad del agua investigados con:

- La NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; y/o
- Los Criterios de Calidad del Agua recomendados por Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), los cuales señalan los niveles máximos recomendados para distintos usos; y/o
- Los parámetros establecidos por la Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO por sus siglas en inglés).

En la última etapa, se utilizarán los parámetros investigados en las etapas anteriores para poder determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA) de la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo en dos distintas temporadas del año (temporada de lluvias y temporada de estiaje).

Por último, se analizará el valor del ICA para poder concluir si la calidad de la descarga de agua de la refinería tiene una calidad aceptable para su utilización en distintas actividades humanas (Abastecimiento Público, Recreación, Pesca y Vida Acuática, Industrial y Agrícola, Navegación, Transporte y Desechos Tratados).

## **DESARROLLO**

### **CAPÍTULO 1**

#### **1.1 Descripción y análisis de la situación de la Subcuenca Hidrológica del Río Tula y áreas colindantes**

La Subcuenca del Río Tula, cuenta con una superficie de 2,129 km<sup>2</sup>. La corriente principal de esta región es el Río Tula que nace de la sierra de la Catedral en el Estado de México, inicia su recorrido hacia el norte pasando por la población de Tula, llegando a la presa Endhó, continúa hasta Mixquiahuala, pasa por Tezontepec de Aldama y continúa hacia el norte por el Valle del Mezquital.

Por otro lado, en una de sus áreas colindantes (Subcuenca del Río Salado), la corriente principal de agua es el Río salado, que nace con las aportaciones del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, pasando por los poblados de Tequixquiac, Apaxco, Atotonilco, entre las poblaciones del Cardonal y Atitalaquia, así como por el punto medio de Tlaxcoapan, hacia el norte, en Tezontepec, se une al Río Tula. Los arroyos Hueypoxtla, La Noria y El Zarco son tributarios de esta corriente de agua.

Otra subcuenca relevante, colindante a la Subcuenca del Río Tula, es la Subcuenca del Río Tepeji, que, como su nombre lo indica, contiene como corriente principal de agua al Río Tepeji. Este río nace en la barranca de “El Gallinero” y desemboca en la presa La Requena, en el municipio de Tepeji del Río y alimenta al Río Tula.

En la región de estudio existen zonas de almacenamiento importantes mencionados a continuación.

- PRESA ENDHÓ. Localizada en el municipio de Tula, esta cuenca cuenta con un almacenamiento de 183, 000,000 m<sup>3</sup>. Las aguas aquí almacenadas son aguas negras del D. F., provocando diversos problemas como la contaminación del agua, eutroficación (exceso de minerales y nutrientes en un ecosistema acuático), presencia de lirios acuáticos, entre otros. El agua almacenada en esta presa se usa para el riego agrícola de la región.
- PRESA REQUENA. Aguas arriba del Río Tula se localiza la Presa Requena. Los ríos que alimentan a esta presa son el Río Salado y el Río Tepeji. Esta presa cuenta con una capacidad de almacenamiento de 52, 400,000 m<sup>3</sup>. Principalmente, el agua de esta presa es utilizada para riego agrícola.
- PRESA TAXHIMAY. Aguas arriba del Río Tepeji, se localiza la Presa Taxhimay con una capacidad de almacenamiento de 49, 300,000 m<sup>3</sup>. El agua de esta presa se utiliza para riego agrícola de las parcelas cercanas ubicadas entre Tepeji del Río y San Buenaventura.

La calidad del agua de los ríos Tepeji, el Salto y el Salado, controlados mediante las presas Requena, Endhó y Tlamaco, difieren entre sí, esto debido a que el Río Tepeji conduce aguas de escurrimiento pluvial y de descargas de aguas residuales domésticas, regulándose su distribución en la Presa Requena. Por otro lado, el Salto conduce escurrimientos pluviales que provienen de la Ciudad México, también recoge las descargas del Emisor profundo y de las poblaciones de Jasso y Tula para formar el Río Tula. El Río

Tula, a su vez recibe a los ríos Tlautla y Rosas, influente de la Presa Endhó. De aquí, al este, recibe la descarga del Río Salado, el cual conduce el agua residual generada en el Valle de México.

En la zona de la Subcuenca Hidrológica del Río Tula y áreas colindantes, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) cuenta con seis estaciones de monitoreo de la calidad de agua.

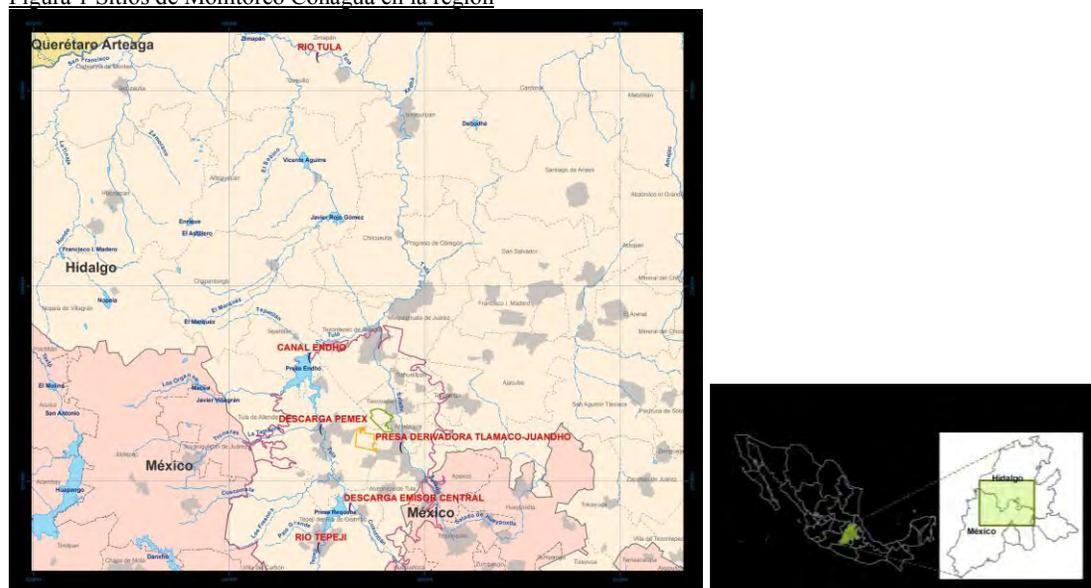
En la Tabla 1 y en la Figura 1, se muestran la ubicación de estos seis sitios de monitoreo.

Tabla 1. Sitios de Monitoreo

NOMBRE ESTACIÓN	CUENCA	SUBCUENCA	CUERPO DE AGUA	TIPO DE CUERPO DE AGUA	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
Canal Endhó	R.Moctezuma	R. Tula	Canal Endhó	Canal	Tepetitlan	-99.356944	20.158694
Río Tula (La Cruz)	R.Moctezuma	R. Tula	Río Tula	Río	Tasquillo	-99.346333	20.575977
Descarga Emisor Central	R.Moctezuma	R. El Salto	Descarga Emisor Central	Descarga Municipal	Atotonilco de Tula	-99.296945	19.950083
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	R.Moctezuma	R. Salado	Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	Presa	Atitalaquia	-99.222805	20.035027
Descarga Pemex	R.Moctezuma	R. Tula	Descarga de Pemex en el Río Tula	Descarga Industrial	Tula de Allende	-99.340083	20.059611
Río Tepeji	R.Moctezuma	R. El Salto	Río Tepeji	Río	Tepeji del Río de Ocampo	-99.342999	19.895277

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2009

Figura 1 Sitios de Monitoreo Conagua en la región



## 1.2 Investigación de los parámetros de calidad del agua que se presentaron en tres distintas épocas del año 2008 en la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo

En el 2008, Conagua realizó tres muestreos en los puntos de monitoreo ubicados dentro de la Subcuenca Hidrológica del Río Tula. El sitio de muestreo a analizar es el denominado como descarga de Pemex. El primer muestreo se realizó en marzo, el segundo en junio y el tercero en agosto. En la Tabla 2, se muestran los distintos parámetros tomados en la descarga de Pemex a lo largo del año 2008.

Tabla 2. Parámetros muestreados en la descarga de Pemex

NOMBRE	DÍA MUESTREO	COLOR	CONDUC. dS/m	DBO <sub>5</sub> mg/l	FOSFATOS TOTALES mg/l	GRAS Y ACEITES mg/l	NITRATO mg/l
DESCARGA PEMEX MARZO	04-mar-08	20.00	5,886	13	0.650	6.79	27.66
DESCARGA PEMEX JUNIO	17-jun-08	10.00	4,276	17	0.514	7.33	28.21
DESCARGA PEMEX AGOSTO	26-ago-08	50.00	3,968	11	0.350	1.01	27.47

NOMBRE	DÍA MUESTREO	OD mg/l	pH	SDT mg/l	SST mg/l	TURBIEDAD	TEMP °C
DESCARGA PEMEX MARZO	04-mar-08	6.08	7.46	846	38.0	2.6	24.0
DESCARGA PEMEX JUNIO	17-jun-08	6.89	7.71	3474	0.0	2.5	24.5
DESCARGA PEMEX AGOSTO	26-ago-08	6.18	7.80	3134	32.0	10	23.0

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2009

Estos parámetros son de gran utilidad para poder revisar si la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo cumple con la normatividad mexicana y/o internacional. Así mismo, son suficientes para calcular el Índice de Calidad del Agua y así poder revisar si el agua en la descarga de Pemex puede tener algún tipo de aprovechamiento en alguna actividad humana.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 Análisis y comparación de los parámetros de calidad del agua investigados**

En esta etapa se llevará a cabo el análisis y comparación de los parámetros de calidad del agua de la descarga de Pemex con los límites máximos permisibles y recomendados señalados por la normatividad mexicana y/o internacional según sea el caso.

Es importante mencionar que la Norma Oficial Mexicana que aplica a esta descarga es la NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Sin embargo, debido a que en esta norma no se mencionan muchos de los parámetros investigados, se utilizarán los Criterios de Calidad del Agua señalados por la SEMARNAT. En la Tabla 3, se pueden observar los parámetros señalados en los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT.

Tabla 3. Criterios de Calidad del Agua: Niveles máximos en miligramos por litro (excepto que se indique otra unidad)

PARÁMETRO	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO CON CONTACTO PRIMARIO	RIEGO AGRÍCOLA	PECUARIO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
					AGUA DULCE	AGUA MARINA (ÁREAS COSTERAS)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1000	1	1000	6	1	1
DBO	6	6	6	6	6	6
DQO	6	6	6	6	6	6
Nitratos (como N)	5	6	6	90	6	0.04
Nitrógeno amoniacal	6	6	6	6	0.6	0.01
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	4	6	6	6	5	5
Sólidos disueltos Totales	500	6	500 <sup>3</sup>	1000	6	6
Sólidos Suspendidos Totales	500	6	50	6	4	6
Fosfatos (como PO <sub>4</sub> )	0.1	6	6	6	5	0.002

1 Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

2 Para oxígeno disuelto, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

3 La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l, y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

4 Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de luz para la actividad fotosintética en más del 10% a partir del valor natural.

5 Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada.

6 No hay criterio ecológico.

Nota Se incluyen sólo los parámetros utilizados en los cuadros de Calidad del Agua de ríos y lagos seleccionados presentados en esta publicación.

Fuente Elaborado por Semarnap, Comisión Nacional del Agua, con base en: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, «Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89», Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de 1989

En algunos casos también se utilizarán los límites señalados por la FAO, esto con el fin de poder realizar un mejor análisis de ciertos parámetros difíciles de interpretar debido a la falta de parámetros establecidos en las normas mexicanas.

## **COLOR**

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura sólo es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle color rojizo, y la del manganeso un color negro.

Tanto la NOM-001-SEMARNAT-1996, como los Criterios de Calidad recomendados por la SEMARNAT, no indican el nivel máximo permisible o recomendado para este parámetro.

En la Tabla 4, se muestran los valores del color en el sitio de monitoreo.

Tabla 4. Lectura de Color en la descarga de Pemex 2008

<b>NOMBRE ESTACIÓN</b>	<b>DÍA MUESTREO</b>	<b>HORA</b>	<b>COLOR</b>
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	20
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	10
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	50

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

## **CONDUCTIVIDAD**

La conductividad es uno de los principales indicadores de salinidad en el agua. En los procesos de la refinería, el agua es utilizada para la limpieza del crudo antes de que éste pase a la etapa de refinación. Es por esto que analizar este parámetro es de suma importancia para poder evaluar la calidad del agua en la descarga de Pemex. La conductividad específica no está delimitada dentro de la norma (NOM-001-SEMARNAT-

1996) y criterios utilizados (Criterios de Calidad del Agua SEMARNAT). A pesar de esto, es importante mencionar los valores de conductividad en la descarga de Pemex debido a que ésta está estrechamente ligada con la salinidad de los cuerpos de agua. Los valores mostrados en la Tabla 5 se encuentran en deciSiemens por metro (dS/m).

Tabla 5. Lectura de conductividad en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	CONDUCTIVIDAD
Descarga Pemex	04-mar-08	5.886
Descarga Pemex	17-jun-08	4.276
Descarga Pemex	26-ago-08	3.968

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Según la Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO por sus siglas en inglés) en su publicación de Calidad de Agua para Agricultura, los límites de conductividad que el agua debe de tener para su uso agrícola (el agua aquí analizada es en su mayoría para uso agrícola) deben de ser los siguientes:

Tabla 6. Límites de conductividad marcada por la FAO

Nada de Salinidad dS/m	De Leve a Moderada dS/m	Severo dS/m
< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0

Fuente: FAO WATER QUALITY FOR AGRICULTURE

La descarga de Pemex supera los límites establecidos por la FAO en su publicación de Calidad de Agua para Agricultura, por lo que se puede interpretar que la cantidad de sales en el agua en la descarga puede llegar a salinizar los suelos agrícolas de la región ocasionando, con esto, una disminución en su capacidad productiva.

## DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Entre mayor sea la cantidad de desechos orgánicos en el agua, mayor serán las bacterias presentes para descomponer los desechos.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 del límite permisible de la Demanda Bioquímica de Oxígeno son los siguientes:

Tabla 7. Límite Máximo Permissible DBO, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros (mg/l)	RÍOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
DBO	200	150	60

Fuente: SEMARNAT

En la Tabla 8, se puede observar que para cualquier tipo de uso, la descarga de Pemex se encuentra por debajo de los Límites Máximos Permisibles señalados por la norma mexicana.

Tabla 8. Lectura de DBO en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	DBO <sub>5</sub>
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	12.79
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	17
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	10.99

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para la norma, la calidad del agua (según su DBO<sub>5</sub>) cumple con los Límites Máximos Permisibles para descargas de agua en ríos para uso agrícola.

## FÓSFORO TOTAL

La presencia de fosfatos en aguas residuales es debida a los detergentes descargados en las aguas, así como al uso de fertilizantes que son deslavados de la tierra de cultivo. Su presencia junto con los nitratos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 del límite permisible del fósforo total son los siguientes:

Tabla 9. Límite Máximo Permisible fósforo, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros (mg/l)	RÍOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario

Fósforo Total	30	30	10
---------------	----	----	----

Fuente: SEMARNAT

En la Tabla 10, se puede observar los valores del fósforo total obtenidos por Conagua en la descarga de Pemex a lo largo del año 2008.

Tabla10. Lectura de fósforo en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	FÓSFORO TOTAL
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	0.65
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	0.514
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	0.35

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Comparando los valores del fósforo investigados con los Límites Máximos Permisibles señalados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, se puede observar que la descarga de Pemex cumple con los límites permitidos de fósforo total descargado en ríos nacionales.

## GRASAS Y ACEITES

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido. Las grasas y aceites en las aguas de riego, forma una película en la superficie de agua, que al tener contacto con los cultivos, interfieren el ingreso de los rayos solares a los cultivos, impidiendo de esta manera su desarrollo biológico.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 del límite permisible de las grasas y aceites son los siguientes:

Tabla 11. Límite Máximo Permisible grasas y aceites, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros (mg /l)	RÍOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
Grasas y Aceites	25	25	25

Fuente: SEMARNAT

Los problemas y complicaciones que pueden ocasionar las grasas y aceites es que al solidificarse pueden causar bloqueos y obstrucciones en las tuberías. En la Tabla 12, se muestran los valores obtenidos por Conagua en la descarga de Pemex a lo largo del año 2008.

Tabla 12. Lectura de grasas y aceites en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	GRASAS Y ACEITES
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	6.79
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	7.33
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	1.01

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para la norma, la calidad del agua en la descarga de Pemex (según las grasas y aceites) sí cumple con los Límites Máximos Permisibles para descargas de agua en ríos para cualquier tipo de uso.

## NITRATOS

Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados. Su presencia junto con los fósforos, en aguas superficiales, provoca la aparición de un excesivo crecimiento de algas, lo que se conoce como eutrofización.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 no indica el Límite Máximo Permisible para este parámetro. De igual manera, en los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT se menciona que no existe criterio ecológico para este parámetro. Sin embargo, se indica su valor ya que es importante tomarlo en cuenta para estimar el Índice de Calidad del Agua en este sitio de monitoreo.

En la Tabla 13, se pueden observar los tres muestreos que se realizaron en la descarga de Pemex en el año 2008.

Tabla 13. Lectura de nitratos en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	NITRATO
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	<b>27.66</b>
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	<b>28.21</b>
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	<b>27.47</b>

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Es importante destacar que las descargas residuales ricas en nitrógeno pueden ocasionar problemas de reducción de oxígeno, ya que al oxidarse los compuestos de nitrógeno consumen el poco oxígeno presente. Con esto, aumenta el deterioro de la corriente de agua.

## pH

El pH es la medida de la concentración de los iones hidrógeno, nos mide la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

Tanto la NOM-001-SEMARNAT-1996, como los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT, no indican un nivel máximo permisible para este parámetro.

En la Tabla 14, se pueden observar tanto los valores de pH en el sitio, como las lecturas del pH en el laboratorio.

Tabla 14. Lectura de pH en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	PH SITIO	PH LAB.
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	7.74	7.46
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	7.74	7.71
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	8.05	7.8

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Es importante mencionar que el pH en el agua se utiliza como parámetro para conocer su tendencia corrosiva o incrustante. Al encontrarse cerca del valor neutro de pH (7 en la escala 1-14 de pH), se puede concluir que el agua en la descarga de la refinería no tiene una tendencia corrosiva o incrustante.

## SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT), son todas aquellas sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua. Los SDT pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. La NOM-001-SEMARNAT-1996 no indica el Límite Máximo Permisible para este parámetro.

Por esto, para poder analizar este parámetro, se considera tomar el valor mencionado por los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT, el cual establece que el nivel debe de estar entre 500 y 1000 mg/l<sup>1</sup>.

Como se puede observar en la Tabla 15, el valor de Sólidos Disueltos Totales en la descarga de Pemex está por encima del nivel máximo recomendado en dos muestreos.

Tabla 15. Lectura de Sólidos Disueltos Totales en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	SDT
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	846
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	<b>3,474</b>
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	<b>3,134</b>

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT, la calidad del agua en la descarga de Pemex (según los SDT) excede los niveles máximos recomendados para uso de Riego Agrícola.

## SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son todas aquellas partículas no solubles que no son lo suficientemente pesadas para sedimentarse en el cuerpo de agua en que están presentes. Este parámetro de la calidad del agua está estrechamente ligado con la turbiedad del agua.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 del Límite Máximo Permisible de los Sólidos Suspendidos Totales son los siguientes:

<sup>1</sup> La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l, y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

Tabla 16. Límite Máximo Permisible SST, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros  (mg /l)	RÍOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
SST	200	125	60

Fuente: SEMARNAT

A continuación, se puede observar los valores obtenidos en los muestreos por parte de Conagua en la descarga de Pemex.

Tabla 17. Lectura de Sólidos Suspendidos Totales en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	SST
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	38
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	0
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	32

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para la norma, la calidad del agua en la descarga de Pemex (según sus SST) cumple con los Límites Máximos Permisibles para descargas de agua en ríos, para cualquier uso.

## TURBIEDAD

La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbiedad.

Tanto la NOM-001-SEMARNAT-1996, como los Criterios de Calidad del Agua de la SEMARNAT, no indican el nivel máximo permisible o recomendado para este parámetro.

En la tabla mostrada a continuación, se puede observar los valores obtenidos en el muestreo

de Conagua para el parámetro de Turbiedad del Agua en la descarga de la Refinería Miguel Hidalgo.

Tabla18. Lectura de Turbiedad en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	TURBIEDAD
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	2.6
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	2.5
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	<b>10</b>

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

## TEMPERATURA

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Es importante resaltar que las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996 del Límite Máximo Permisible de la temperatura son los siguientes:

Tabla19. Límite Máximo Permisible temperatura, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RÍOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
°C			

Temperatura

N. A

40

40

Fuente: SEMARNAT

Como se puede observar en la Tabla 20, todos los valores obtenidos en los muestreos a lo largo del 2008, están por debajo de los Límites Máximos Permisibles que señala la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tabla20. Lectura de temperatura en la descarga de Pemex 2008

NOMBRE ESTACIÓN	DÍA MUESTREO	HORA	TEMPERATURA AGUA
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	24
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	24.5
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	23

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Cálculo del Índice de Calidad del Agua (Temporada de estiaje y Temporada de lluvias)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura.

Es importante analizar todos los parámetros obtenidos de las mediciones en la descarga de Pemex en la estación de monitoreo y muestreo de la Comisión Nacional del Agua. Para unificar estos parámetros en uno solo por cada fecha de monitoreo, se obtuvo un Índice de Calidad del Agua (ICA). Este ICA va en una escala de valores de 0 a 100 en donde 0 es la peor calidad y 100 la mejor. La metodología empleada para la obtención del ICA se obtuvo de la publicación de “Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio”, publicado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en 1988.

A continuación se muestra el procedimiento realizado para obtener los valores del ICA.

1. Con las siguientes fórmulas se obtuvieron los valores llamados Índice de cada uno de los parámetros obtenidos en el sitio de muestreo (descarga de Pemex).

#### ÍNDICE COLOR

$$I_c = 123(C)^{-0.295}$$

Si  $C < 2.2$ , entonces  $I_c = 100$

#### ÍNDICE CONDUCTIVIDAD

$$I_{Co} = 540 (Co)^{-0.379}$$

Si  $Co < 85.5$ , entonces  $I_{Co} = 100$

## ÍNDICE DBO

$$I_{\text{DBO}} = 120 (\text{DBO})^{-0.673}$$

Si  $\text{DBO} < 1.311$ , entonces  $I_{\text{DBO}} = 100$

## ÍNDICE FOSFATOS

$$I_{\text{PO}_4} = 34.215(\text{PO}_4)^{-0.46}$$

Si  $\text{PO}_4 < 0.097$ , entonces  $I_{\text{PO}_4} = 100$

## ÍNDICE GRASAS Y ACEITE

$$I_{\text{GYA}} = 87.25 (\text{G Y A})^{-0.298}$$

Si  $\text{G Y A} < 0.632$ , entonces  $I_{\text{GYA}} = 100$

## ÍNDICE NITRATOS

$$I_{\text{NNO}_3} = 16.2(\text{NNO}_3) - 0.343$$

Si  $\text{NNO}_3 < 4.1$ , entonces  $I_{\text{NNO}_3} = 100$

## ÍNDICE OXÍGENO DISUELTO

$$I_{\text{OD}} = \frac{100 (\text{OD})}{14.492 - 0.364 T + 0.006 T^2}$$

Si  $\text{OD} > 8$ , entonces  $I_{\text{OD}} = 100$

## ÍNDICE pH

$$I_{\text{pH}} = 10^{0.2335\text{pH} + 0.440}$$

Si  $0 < \text{pH} < 6.68$

$$I_{\text{pH}} = 10^{0.2335\text{pH} + 0.440}$$

Si  $7.576 < \text{pH} < 14$

Si  $6.68 < \text{pH} < 7.576$ , entonces  $I_{\text{pH}} = 100$

## ÍNDICE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$$

Si  $SD < 520$ , entonces  $I_{SD} = 100$

Si  $SD > 6234$ , entonces  $I_{SD} = 0$

## ÍNDICE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

$$I_{SST} = 266.5 (SST)^{-0.37}$$

Si  $SST < 1.75$ , entonces  $I_{SST} = 100$

## ÍNDICE TURBIEDAD

$$I_{Turb} = 108(Turb)^{-0.178}$$

Si  $Turb < 1.5$ , entonces  $I_{Turb} = 100$

A continuación se muestran los valores obtenidos después de haber utilizado las fórmulas anteriores.

Tabla 21: Índice de cada parámetro en la descarga de Pemex

NOMBRE	DÍA MUESTREO	COLOR	I COLOR	COND	I COND	DBO5	IDBO	FOSF	I FOSF
Temporada de Estiaje	04-mar-08	20.00	50.83	5,886	20	13	22	0.650	41.713
Temporada de Lluvias	26-ago-08	50.00	38.79	3,968	23	11	24	0.350	55.456

NOMBRE	DÍA MUESTREO	GRAS Y ACEI	I G Y A	NITRATO	I NITR	OD	I OD	PH	I PH
Temporada de Estiaje	04-mar-08	6.79	49.30	27.66	51.93924	6.08	66.00	7.46	100.00
Temporada de Lluvias	26-ago-08	1.01	86.99	27.47	52.06218	6.18	66.49	7.80	86.02

NOMBRE	DÍA MUESTREO	SDT	ISDT	SST	ISST	TURBIEDAD	I TURB
Temporada de Estiaje	04-mar-08	846	94.295	38.0	100.0	2.6	91.10842
Temporada de Lluvias	26-ago-08	3134	54.255	32.0	100.0	10	71.68425

2. Ya obtenidos los valores, se procede a asignarle un valor de importancia ( $W_i$ ) a cada parámetro utilizado. Los valores asignados van de 0 a 5 en orden creciente de relevancia según el uso a que se destina el cuerpo de agua analizado. En este caso, la intención es

analizar la calidad del agua en la descarga de Pemex para distintos usos ilustrados en la Figura 2. Por esto, se consideró 5 para la mayoría de los parámetros con excepción de los parámetros de color y turbiedad que no afectan para el desarrollo de ninguna de las actividades mencionadas en la Figura 2.

Tabla 22: Valor de importancia asignado a cada parámetro

NOMBRE	DÍA MUESTREO	COLOR Wi	COND Wi	DBO 5 Wi	FOSF Wi	GYA Wi	NITRATO Wi
Temporada de Estiaje	04-mar-08	1	5	5	5	5	5
Temporada de Lluvias	26-ago-08	1	5	5	5	5	5

NOMBRE	DÍA MUESTREO	OD Wi	pH Wi	SDT Wi	SST Wi	TURB Wi
Temporada de Estiaje	04-mar-08	5	5	5	5	1
Temporada de Lluvias	26-ago-08	5	5	5	5	1

3. Para calcular el Índice de Calidad del Agua se utiliza la siguiente fórmula.

$$ICA = \frac{\sum_1^n (I \times W_i)}{\sum_1^n (W_i)}$$

Una vez utilizada esta fórmula para cada una de las temporadas (estiaje y lluvias) se puede expresar el ICA de la siguiente forma.

Tabla 23: Cálculo de ICA en cada temporada (estiaje y lluvias)

NOMBRE	DÍA MUESTREO	$\sum I \times W_i$	$\sum W_i$	ICA
Temporada de Estiaje	04-mar-08	2,867	÷ 47	= 61.0
Temporada de Lluvias	26-ago-08	2,853	÷ 47	= 60.7

4. Una vez obtenido el ICA, es necesario hacer una clasificación para poder comparar los resultados obtenidos. En la Figura 2, se muestra la clasificación propuesta por la Ex Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.

Figura 2 Clasificación del Índice de Calidad del Agua

	I	II	III	IV	V	VI	
100	NO REQUIERE PURIFICACIÓN	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUÁTICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACIÓN	A C E P T A B L E	A C E P T A B L E	
90	LIGERA PURIFICACIÓN			LIGERA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS			
80	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL			
70			DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES				
60		DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA			
50	DUDOSO	SIN CONTACTO CON EL AGUA	MUESTRAS OBIAS CONTAMINACIÓN	USO MUY RESTRINGIDO			CONTAMINADO
40	INACEPTABLE	INACEPTABLE		INACEPTABLE			INACEPTABLE
30		INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE			
20		INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE			
10							
0							
	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA	NAVEGACIÓN	TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS	

Fuente: Ex Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología – "Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio". Año 1988

En esta clasificación, se pueden localizar en el eje horizontal los tipos de actividades para los que se puede aprovechar el agua sujeta a estudio; en el eje vertical se encuentran los distintos resultados (expresados en porcentajes) del cálculo del Índice de Calidad del Agua. Una vez seleccionada la actividad para la que se quiere aprovechar el agua sujeta a estudio y una vez obtenido el ICA, se puede concluir si el agua es adecuada para el uso seleccionado.

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 Análisis de Resultados y Conclusiones.**

#### **PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA**

Una vez investigados y analizados los parámetros de calidad del agua de la descarga de Pemex antes del inicio de la construcción de la Nueva Refinería de Pemex, podemos concluir lo siguiente:

- La descarga de aguas residuales de la Refinería Miguel Hidalgo cumple con los Límites Máximos Permisibles de calidad en las descargas establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- La descarga de la Refinería Miguel Hidalgo, según los valores recomendados en los Criterios de Calidad de Agua de la SEMARNAT, no cumple con los mg/l recomendados de Sólidos Disueltos Totales en dos de las tres fechas de monitoreo.
- La conductividad en la descarga de aguas residuales de la Refinería Miguel Hidalgo es superior a lo señalado por la FAO para aguas de uso agrícola. Esto podría causar una salinización relevante en los suelos agrícolas de la región.

#### **ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA**

Como se puede observar en la Figura 2, al comparar los valores de los ICA calculados (en ambas temporadas) con los distintos usos, nos podemos dar cuenta del siguiente diagnóstico.

Figura 3 Ubicación ICA calculados en la Clasificación propuesta

	I	II	III	IV	V	VI
100	NO REQUIERE PURIFICACIÓN	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUÁTICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACIÓN		
90	LIGERA PURIFICACIÓN			LIGERA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS	A	A
80					C	C
70	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE NO RECOMENDABLE	EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL	E	E
60			DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES		A	T
50	DUDOSO	DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA	B	A
40		SIN CONTACTO CON EL AGUA			L	B
30		MUESTRAS OBVIAS CONTAMINACIÓN		USO MUY RESTRINGIDO	E	L
20	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	CONTAMINADO	E
10						
0						
	ABASTECIMIENTO PÚBLICO	RECREACIÓN	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA	NAVEGACIÓN	TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS

Fuente: Ex Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología – "Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio". Año 1988

Nota:

En verde- El ICA de la descarga de Pemex en temporada de Estiaje

En naranja- El ICA de la descarga de Pemex en temporada de Lluvias

- I. Según la Figura 3 y el ICA calculado (tanto para temporada de lluvias como de estiaje), es necesario realizar un mayor tratamiento para poder utilizar esta agua para el abastecimiento público.
- II. No es recomendable utilizar el agua de la descarga en actividades de recreación.
- III. El agua en la descarga de Pemex puede aprovecharse para la pesca y mantenimiento de la vida acuática, siempre y cuando no sea para especies muy sensibles.

- IV. Según esta clasificación, la calidad del agua en la descarga de Pemex puede ser aprovechada sin tratamiento para industria normal, es decir, para industria que no requiera el agua para procesos muy especializados.
- V. La calidad del agua en la descarga de Pemex es aceptable para su aprovechamiento en actividades de navegación.
- VI. La calidad del agua en la descarga de Pemex es aceptable para su aprovechamiento en la transportación de desechos tratados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. NOM-001-SEMARNAT-1996.

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-001-ECOL.pdf>

2. SEMARNAT- Conagua- Subdirección general de agua potable, drenaje y saneamiento.

3. Criterios de Calidad del Agua (SEMARNAT)

[http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas\\_2000/estadisticas\\_ambientales\\_2000/03\\_Dimension\\_Ambiental/03\\_02\\_Agua/III.2.2/RecuadroIII.2.2.1.pdf](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/estadisticas_ambientales_2000/03_Dimension_Ambiental/03_02_Agua/III.2.2/RecuadroIII.2.2.1.pdf)

4. “The use of saline waters”, Food and Agriculture Organization (United Nations), Natural Resources Management and Environment Department.

<http://www.fao.org/docrep/t0667e/t0667e05.htm>

5. “Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio”, Ex Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología, año última edición 1988.

6. “Aplicación De Un Modelo Hidrogeoquímico En El Valle Del Mezquital, Hidalgo”, Comisión Nacional Del Agua, Gerencia Regional De Aguas Del Valle De México, Susana Gutiérrez Ángeles y Braulio Francisco Silva De La Rosa

7. “Suministro Confiable De Agua Para Consumo Humano En El Distrito De Riego 03”, Instituto de Ingeniería UNAM, Sotomayor Garza Claudia, López Alcántara Nonatzin, Jiménez Cisneros Blanca.