



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“Índice de calidad del agua residual tratada para riego agrícola en el valle de Maneadero”

TESIS

Que para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta
SERGIO ITZAE MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

Ensenada, B.C. Noviembre 2012

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS**

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN ZONAS ÁRIDAS

**“Índice de calidad del agua residual tratada para riego agrícola
en el valle de Maneadero”**

TESIS

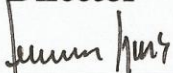
Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Sergio Itzae Martínez Hernández

Aprobado por

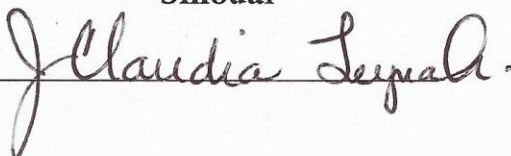
Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa
Director



Dr. Luis Walter Daesslé Heuser
Codirector



Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera
Sinodal



AGRADECIMIENTOS

A México que a través de CONACYT me dio la oportunidad de seguirme preparando con la beca otorgada numero 258646.

A la Universidad Autónoma de Baja California, y en especial al programa de Maestría en Manejo en Ecosistemas de Zonas Áridas a quien llevaré muy presente en esta nueva etapa de mi vida profesional.

A mis sinodos el Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa por su tiempo y ayuda en todo momento, al Dr. Luis Walter Daesslé Heuser por su apoyo y sugerencias, a la Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera por su valiosa guía y tiempo dedicado a este trabajo.

Al Comité Técnico de Maneadero, en especial a el ingeniero Rigoberto Solorio y el ingeniero Alejandro Guzmán por todas las facilidades brindadas en la elaboración de los talleres, al Dr. Cesar Valenzuela por su asesoría.

A mis compañeros y amigos especialmente a Omar Arriaga, Cynthia Waller y Stefanny Cordova, quienes me apoyaron durante el desarrollo de esta trabajo.

A mi padre Sergio Martínez por su apoyo incondicional e involucramiento en este proyecto, a mi madre Elisa Hernández por estar siempre al pendiente y motivarme a seguir preparandome, a mis hermanos Marco Antonio, Itzi Yoreni y Leonardo Rafael con quienes siempre cuento.

A dios, esa gran voluntad que me permitió llevar a cabo este proyecto que alguna vez soñé realizar.

RESUMEN

La sobreexplotación del acuífero de Maneadero constituye una situación de urgencia para el ambiente y las personas que de éste dependen. Esta problemática surge a partir del crecimiento de la población, la diversificación de los usos sobre el recurso hídrico, especialmente el agrícola, y la condición de sequía que por varias décadas afecta a la región. Actualmente la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE), vierte a la bahía de Todos Santos al menos 0.5 metros cúbicos por segundo de agua tratada, equivalente a por lo menos 15.8 millones de metros cúbicos al año, lo que se estima corresponde a 47.3 millones de pesos anuales, es decir más de 470 millones de pesos en la última década. En el presente estudio se analiza la calidad del efluente de la planta de El Naranjo, con base en la normatividad mexicana y del estado de California, EUA. Posteriormente se desarrolla un índice de calidad del agua residual tratada (ICA) para el reuso en la agricultura, con lo que se pretende cumplir con la función de informar la calidad del agua residual tratada a los diferentes usuarios y tomadores de decisiones y de esta forma ayudar en el proceso de comunicación entre gobierno y sociedad. El ICA pondera los parámetros: Tu, pH, SST, SS, DBO₅, G-A, CF, Tu y SDT además de incluir un sistema de semáforos para clasificar la calidad del agua. De acuerdo al ICA el 48% de las muestras de agua presentan una calidad buena, lo cual nos indica que estas aguas pueden utilizarse para el riego de productos agrícolas sin presentar mayor riesgo o amenaza.

Contenido

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1 PERCEPCIÓN SOCIAL SOBRE EL REUSO DE AGUA TRATADA	8
2.2 REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS	9
2.3. PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EL NARANJO	10
2.4. CALIDAD DE AGUA	12
2.4.1. Biológico.....	13
2.4.2. Físico	13
2.4.3. Químico.....	13
2.4.4. Salinidad.....	13
2.5. ELEMENTOS TRAZA	15
2.6. NORMATIVIDAD APLICABLE	15
2.7. LEY DE SALUD DE CALIFORNIA	17
2.8. INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA (ICA)	21
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
4. OBJETIVOS	24
5. ZONA DE ESTUDIO	24
6. METODOLOGÍA	27
6.1. COMPONENTE SOCIAL	28
6.2. COMPONENTE AMBIENTAL	30
6.2.1 Generación del índice de calidad de agua	31
6.2.2 Aplicación de ICA.....	33
7. RESULTADOS	34
7.1. COMPONENTE SOCIAL	34
7.1.1. Identificación de actores.....	34
7.1.2. Reuniones informativas	38
7.1.3. Diagrama de Ishikawa	40
7.2. COMPONENTE AMBIENTAL	41
7.2.1 Análisis de la calidad del agua de la planta El Naranjo	41
7.2.2 Metales pesados	47
7.2.3 Comparación de la normatividad Mexicana con la norma del estado de California	50
7.2.4 Propuesta de índice de calidad de agua tratada, para el reuso en la agricultura del valle de Maneadero	52
7.2.5. Aplicación del ICA.....	57
7.3. RECOMENDACIONES DE MANEJO PARA EL REUSO DEL AGUA TRATADA	58
7.4. CAMPO DE FUERZA DE FISHER.....	61
8. DISCUSIÓN	64
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
11. GLOSARIO DE TERMINOS	69
12. BIBLIOGRAFÍA	71
13. ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Límites máximos permisibles NOM-001-SEMARNAT-1996	16
Tabla II: Límites máximos permisibles NOM-003-SEMARNAT-1997	17
Tabla III: Grado de restricción por efectos de la salinidad y sólidos disueltos totales de la Universidad de California Committee of Consultants (1974) y de Ayers y Westcot (1984).....	14
Tabla IV: Concentración máxima permitida de elementos traza en agua para riego (tomada de Tejada et. al., 1983).....	15
Tabla V: Identificación de actores	34
Tabla VI: Identificación de actores metodología Fisher	37
Tabla VII: Comparación de la Normatividad Mexicana con la Norma del estado de California.	51
Tabla VIII: Selección de parámetros de ICA por indicador.....	52
Tabla IX: Límites permitidos por parámetro	53
Tabla X: Ponderadores de parámetros por indicador.....	53
Tabla XI: Categorías de la calidad del agua según ICA	54
Tabla XII: Tolerancia de cultivos a la salinidad (tomado de Mujeriego 1990)	55
Tabla XIII: Simulación del comportamiento del ICA, en sus distintas combinaciones extremas de los indicadores Físico, Químico y Bacteriológico.	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lagunas de oxidación de la planta de tratamiento del Naranjo	10
Figura 2: Localización del valle de Maneadero (tomado de: Desarrollo y Sistemas S.A., 2002).....	25
Figura 3: Actividad primaria en el valle de Maneadero.....	26
Figura 4: Esquema metodológico	27
Figura 5: Inicio de la reunión promovida por COTAS Maneadero.	39
Figura 6: Diagrama de Ishikawa.	40
Figura 7: Gráficas de SST y SD de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011	45
Figura 8: Gráficas de G-A y Materia flotante de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011	45
Figura 9: Gráficas de HH y DBO ₅ de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011	45
Figura 10: Gráficas CF logaritmo y CF de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011	45
Figura 11: Porcentajes de cumplimiento de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 periodo 2007-2011.....	46
Figura 12: Análisis de los elementos Arsenico y Cromo	48
Figura 13: Análisis de los elementos Cadmio y Niquel.....	48
Figura 14: Análisis de los elementos Cobre y Cianuros totales.....	49
Figura 15: Análisis de los elementos Plomo y Zinc.....	49
Figura 16: Análisis del elemento Mercurio.....	50
Figura 17: Descripción del ICA semáforo amarillo.....	57
Figura 18: Resultados del ICA periodo 2007-2011	57
Figura 19: Propuesta de trazo del acueducto de aguas residuales tratadas (tomado de: Desarrollo y Sistemas S.A., 2002)	59
Figura 20: Distribución espacial de STD obtenidos durante el muestreo de pozos marzo y abril del 2011 (de Manjarrez, 2011)	60
Figura 21: Campo de Fuerzas Fisher para el reuso de aguas residuales tratadas en el valle de Maneadero	62

1. INTRODUCCIÓN

Ante la escasez de recursos hídricos, la explosión demográfica y el desarrollo industrial, la utilización de aguas residuales es una importante alternativa como fuente adicional de suministro de agua, particularmente para riego agrícola. La factibilidad del reuso de aguas tratadas en la agricultura está comprobada con experiencias locales, nacionales e internacionales. Esto es debido a que el agua tratada representa una fuente constante y segura de suministro de agua aún en los años más secos, lo cual reduce las extracciones de agua subterránea, y representa una posible reducción del costo económico del agua destinada a riego. Asimismo, el uso de aguas residuales en el riego agrícola conlleva ciertos beneficios, como pueden ser el incremento en cosechas que puede ir de un 10% a un 30% y la disminución en el uso de fertilizantes químicos (Lazarova y Bahri 2005).

Sin embargo, la utilización de aguas residuales para riego tiene implicaciones negativas si no se realiza con el debido cuidado, ya que representa un riesgo a la salud de los trabajadores agrícolas y de los consumidores de los productos, en especial cuando se trata de aquellos productos que se consumen crudos como son las hortalizas, así como posibles riesgos a la contaminación de suelos y acuíferos. Todas estas razones causan algunas dificultades de aceptación social que sólo puede mejorarse con una gestión adecuada.

Las enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua, la poca sanitización y mala higiene causan alrededor de 3.4 millones de muertes al año, la mayoría en niños (UNICEF, 2008). Por tal motivo a nivel internacional se han realizado esfuerzos encaminados hacia el saneamiento de las aguas residuales. Recientemente en la Cumbre del Rio 2012, en el documento “El futuro que se quiere. Nuestra visión común” se reconoce la necesidad de adoptar medidas que ayuden a reducir significativamente la contaminación del agua e incrementen su calidad a través de mejorar el tratamiento de las aguas residuales, la eficiencia de los procesos y la reducción de las fugas del agua.

En el estado de Baja California el reuso del agua tratada merece especial atención, debido a que se encuentra en una zona árida y es uno de los estados mexicanos que presenta mayor escasez de

agua, con un promedio anual de precipitación de 175.7 mm para el periodo 1971-2000 (CONAGUA, 2008). Además, el estado de Baja California utiliza el 85% del volumen de la disponibilidad media del agua, lo que es considerado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como una fuerte presión sobre el recurso hídrico y sobre los ecosistemas que de él dependen (CONAGUA, 2005).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se hace una revisión de conceptos relacionados al reuso del Agua Residual Tratada (ART) tales como: el reuso, la percepción, la calidad, las normas que regulan el reuso e indicadores de calidad. Dado que al hablar de escasez de agua, no sólo se refiere a un problema exclusivo de carácter físico (llueve poco, agotamiento de los acuíferos, etc.) sino también implica aspectos técnicos, políticos y sociales.

En los proyectos donde se involucra el reuso de ART, existe un fuerte componente social, debido a las implicaciones (temores, riesgos, falta de información) que se generan entre los potenciales usuarios y la sociedad en general. Es por esta razón, que es necesario conocer la percepción que tienen los actores involucrados respecto al tema de ART en el riego de productos agrícolas.

2.1 PERCEPCIÓN SOCIAL SOBRE EL REUSO DE AGUA TRATADA

En el presente trabajo se entiende como percepción ambiental a la experiencia directa sobre el medio ambiente y la información indirecta que recibe un individuo a través de otros individuos, de la ciencia y de los medios masivos de comunicación (Whyte, 1985 en Arizpe *et al.*, 1993). Es por esta razón, que la percepción se vuelve relevante en temas ambientales ya que de acuerdo algunos autores, la percepción puede ser más importante que la misma realidad, especialmente cuando se trata de un tema tan sensible como es la calidad de agua (Sheat, 1992 en Doria 2010). En el valle de Maneadero, la percepción que se tiene respecto a la calidad del Agua Residual Tratada (ART) difiere de la realidad ya que mucha de la información con que cuentan no es actual o procede de fuentes poco confiables, por lo que resulta fundamental el proporcionar

información validada, a fin de hacer notar los beneficios que representa el reuso de aguas tratadas.

2.2 REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS

En México, el reuso de las aguas tratadas se aborda de manera particular en los diferentes planes de gobierno: Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, Plan Estatal de Desarrollo, Baja California, 2008-2013 y Plan Municipal de Desarrollo, Ensenada 2008-2010. A nivel local, el Plan Municipal de Desarrollo de Ensenada 2008-2010, en el eje temático 2.6.1 establece promover la implementación de programas para la reducción en el consumo del agua, su tratamiento y reutilización, mediante diversas líneas de acción, como son los incentivos y la obligatoriedad del reuso del agua tratada, así como impulsar la recarga de los mantos acuíferos con aguas tratadas. En el Plan de Manejo Integrado del Agua para el Acuífero de Maneadero, B. C. se menciona que la reutilización de aguas tratadas de la planta “El Naranjo” es la mejor opción para la recuperación del equilibrio del acuífero de Maneadero, en términos de balance promedio y a un costo accesible para los usuarios (Desarrollo y Sistemas, 2002).

Bajo las prácticas actuales el acuífero se encuentra operando bajo condiciones de sobreexplotación, con un déficit de 4.96 Mm³ (CONAGUA, 2002). Esta situación y la frecuente ocurrencia de períodos secos, han dado lugar a niveles piezométricos inferiores al nivel del mar y al avance de la interfase marina, que por su salinidad pone en riesgo la calidad del agua y su utilidad para el uso agrícola y reserva de agua potable. Aunado a esto, se prevé que para el año 2030, la población del valle de Maneadero se triplicará debido al crecimiento de la zona conurbada de la ciudad de Ensenada, por lo que se prevé un aumento continuo en las extracciones del acuífero (Desarrollo y Sistemas S.A., 2002).

En el 2002, la CONAGUA contrató a la empresa Desarrollo y Sistemas, S. A., para la elaboración del “Plan de Manejo Integrado del Agua para el Acuífero de Maneadero, B.C, México”. En este documento, se detalla la situación del acuífero, y se presenta una serie de propuestas para mitigar el problema de sobreexplotación. Referente al reuso de aguas residuales tratadas, es la planta de El Naranjo la opción más factible para utilizar las ART en el valle de Maneadero, debido a su ubicación geográfica y su capacidad de tratamiento (500 lps). Por lo cual

se han realizado diferentes proyectos en esta planta, como es el caso del campo experimental de flores, el cual surgió en mayo del 2010 mediante un convenio entre la CESPE, INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) y el Sistema Producto Flor de Baja California, para llevar a cabo un proyecto piloto de floricultura regada con ART (CESPE, 2010). Además se otorgó 80 millones de pesos para una red de tubería morada para ART con una longitud de 12,845.9 metros lineales para enviar las ART de la planta El Naranjo al valle de Maneadero.

2.3. PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EL NARANJO

La planta de El Naranjo se construyó en el año de 1995 y está ubicada al suroeste de la ciudad de Ensenada en el ex ejido Chapultepec. Cuenta con un proceso biológico de lodos activados y fue diseñada para tener un gasto de tratamiento de 1000 lps, aunque actualmente la primera etapa tiene una capacidad máxima de 500 lps (CESPE, 2012).



Figura 1: Lagunas de oxidación de la planta de tratamiento del Naranjo

Las unidades que integran la planta son:

- **REJILLAS Y CAJA DISTRIBUIDORA A ZANJAS:** Tiene como función dar un pretratamiento y recibir el afluente para posteriormente derivarlo a las zanjas.
- **ZANJAS DE OXIDACIÓN:** Las cuales tienen una capacidad de 18,000 m³ cada una y son de tipo carrusel, en las cuales se encuentran 2,376 difusores de burbuja fina,

distribuidos en cuatro secciones, para proporcionar el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente, y realizar el proceso de degradación y síntesis. Para llevar a cabo el proceso de homogenización se utilizan seis agitadores sumergidos en cada zanja para llegar a una velocidad de 0.30 m/seg con un tiempo de residencia de diseño de 20.3 h

- **CAJA DISTRIBUIDORA A SEDIMENTADORES:** Deriva el agua por sus compuertas a gravedad a los dos sedimentadores secundarios, cuya capacidad es aproximadamente de 7240 m³ cada uno, dentro de los cuales se cambia de régimen turbulento a laminar por medio de las pantallas deflectoras dispuestas en forma perimetral, para precipita al fondo los lodos mismos que se recircula hasta la zona de rejillas de entrada, para mantener una concentración determinada.
- **EDIFICIO DE SOPLADORES:** Consta de seis equipos con capacidad de 3408 m³/hr cada uno, con motores de 150 HP los cuales operan los 365 días al año en forma alterna según las necesidades.
- **EDIFICIO DE CLORACIÓN:** Son dos cloradores que trabajan en forma alternada, con ayuda de bombas para diluir el cloro gas en tanques de 2000 lb cada uno. El cloro es dosificado en una cantidad según el volumen incorporado a lo largo del día para dar un remanente de 0.2-0.4 mg/l residual.
- **TANQUE DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADO DE FILTROS RÁPIDOS:** Recibe el agua de los retrolavados de filtros para regresar a la caja distribuidora a sedimentadores por medio de tres bombas tipo turbina de 20 HP cada uno.
- **EDIFICIO DE SOPLADORES DE ESPESADORES Y FILTROS:** Consta de cuatro equipos con su respectiva distribución de líneas de aire.
- **FILTROS RÁPIDOS:** Proceso terciario que consiste en pasar el efluente por un medio filtrante a base de arena y atracita. Hay que mencionar que actualmente no opera éste proceso por no requerirse ya que se cumple con las condiciones necesarias para descargar según la norma NOM-003- SEMARNAT-1997.
- **ESPESADORES DE LODOS:** Cuenta con dos tanques cuya capacidad es de 2800 m³ cada uno, reciben las purgas diarias que son eliminadas del sistema, en dichos tanques se encuentra distribuidos una cantidad de 598 difusores de burbuja fina.

-
- EDIFICIO DE FILTROS BANDA: Consta con una capacidad instalada de tres equipos, los cuales trabajan un periodo de 16 hrs diarias, para procesar un promedio de 70 toneladas diarias producto de las tres plantas de tratamiento.
 - CARCAMO DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE FILTROS BANDA: Recibe el agua gris separada de los lodos en los filtros banda, para posteriormente regresarse a la zona de rejillas de distribución a zanjas (CESPE, 2012).

2.4. CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (ya sea como agua potable, de recreación, para uso agrícola o industrial), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (SEMARNAT, 2008). Es importante mencionar que estos atributos del agua, deben ser determinada analíticamente, ya que aunque esta puede tener buenas características organolépticas (color, olor, sabor), puede contener diversos patógenos peligrosos e inclusive altos niveles de sustancias químicas que afectan a la salud.

Dentro de los contaminantes del agua son los microbiológicos los que más afectan a la salud pública, sin dejar de lado a los contaminantes químicos (arsénico, flúor, nitratos, metales pesados, pesticidas, etc.). Debido a los impactos de estos contaminantes, es que las instituciones gubernamentales han adoptado estándares de calidad de agua dependiendo de los distintos usos consuntivos que de esta se dan. Siendo una referencia para la calidad del agua potable, la guía para la calidad del agua para beber, publicada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2006, así como la guía de aguas residuales tratadas y reuso en la agricultura en el 2004, de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés).

De acuerdo a la *Environmental Protection Agency* (EPA) de los Estados Unidos, el monitoreo de la calidad del agua pueden ser clasificados en tres tipos: Biológico, Físico y Químicos.

2.4.1. Biológico

Las características biológicas del agua tratada son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el extensivo y fundamental papel que juegan las bacterias y otros microorganismos en la descomposición y estabilización de materia orgánica en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Metcalf & Eddy Inc, 2003). Estas se clasifican en tres clases: Bacterias, Virus y Parásitos

2.4.2. Físico

Afectan el aspecto del agua y estos se refieren a condiciones como temperatura, turbidez, flujo, y color. Aunque estos parámetros no tienen implicaciones directas sobre la calidad del agua, tienen una gran importancia en la percepción de la gente, debido a que estos pueden ser fácilmente visibles.

2.4.3. Químico

A diferencia de los contaminantes microbiológicos, estos contaminantes pueden ocasionar problemas a la salud por exposición crónica, pudiendo persistir por años antes de ser detectados. Existen muchas sustancias químicas que en teoría podrían causar daños a la salud, sin embargo no es posible, ni práctico hacer análisis a todas las sustancias químicas que podrían causar problemas a la salud. Para la OMS existen tres sustancias químicas que tienen el potencial para causar serios problemas, y estos son: el arsénico, flúor y nitratos. En segunda prioridad se debe considerar el hierro, manganeso y la salinidad. Es importante mencionar que este último parámetro en relación a la idoneidad de un agua para riego en agricultura, debe de ser uno de los parámetros más importantes a muestrear (Pettygrove & Asano, 1990).

2.4.4. Salinidad

Como se mencionó, la salinidad representa uno de los parámetros más importantes para determinar la idoneidad de una agua de riego, ya que guarda una relación directa con los posibles problemas causados por la concentración total de sales disueltas en el agua y los daños causados en las plantas. En condiciones de riego normal, una determinada porción del agua se

desplaza por debajo de la zona radicular para arrastrar las sales. A esta fracción se le denomina fracción de lavado. En condiciones normales y con una fracción de lavado de 0.15 se espera que los valores de conductividad (dS/m), comprendidos por debajo de 0.7 dS/m, no presenten ningún problema debido a la salinidad del agua. Mientras que para valores entre 0.7 dS/m y 3 dS/m representa un grado de restricción débil o moderado, y superiores a 3.0 dS/m, representan un grado elevado (Tabla III). En éste último caso, se requerirán técnicas de gestión especial si se desea conseguir una producción por hectárea máxima, como puede ser el cambio de cultivo, por otro más tolerante a la salinidad o el aumento considerable de la fracción de lavado (Mujeriego, 1990).

Tabla I: Grado de restricción por efectos de la salinidad y sólidos disueltos totales de la Universidad de California Committee of Consultants (1974) y de Ayers y Westcot (1984)

Parámetro	Unidad	Ninguno	Moderado	Severo
Conductividad Eléctrica (CE _a)	dS/m	< 0.7	0.7-3.0	>3.0
Materia disuelta total	mg/l	<450	450-2000	>2000

Es importante mencionar que los rangos son en cierto modo arbitrarios, ya que los cambios se producen de forma gradual y no existen puntos claros de separación entre ellos. Variaciones entre el 10% y el 20% por encima o por debajo de los valores indicados pueden tener escasa significancia. Estas directrices se elaboraron mediante estudios de campo, ensayos de investigación y observaciones prácticas. No obstante, la administración propia del usuario del agua, puede alterar considerablemente los resultados. Los valores indicados son aplicables en las condiciones de campo que predominan en las zonas de riego de California, cuando no se adoptan medidas especiales de gestión. Cuando las directrices no indican ninguna restricción sobre el uso del agua, se espera que se obtenga una máxima productividad. Mientras que los valores que exceden la restricción de severo, es muy posible que el usuario tenga serios problemas en su suelo y cultivos, o consiga una menor producción por hectárea, debido a la alta salinidad del agua (Mujeriego, 1990).

2.5. ELEMENTOS TRAZA

Las aguas residuales municipales pueden contener elementos tóxicos, incluyendo metales pesados, derivados de los desechos de las industrias, y demás actividades productivas. Estos elementos tóxicos están presentes normalmente en pequeñas cantidades, y es por esto que son llamados elementos traza. Algunos de estos son removidos durante el proceso de tratamientos pero otros persisten y pueden presentar problemas. En la (Tabla IV) se presentan los niveles máximos recomendados de algunos elementos traza.

Tabla II: Concentración máxima permitida de elementos traza en agua para riego (tomada de Tejada et. al., 1983)

Tabla No. 2.4 Concentraciones máximas permisibles de metales traza en aguas para riego			
Elemento	Uso continuo en todo tipo de suelo (mg/l)	Uso en suelo de textura fina (mg/l)	Uso esporádico (mg/l)
Aluminio (Al)		1.0	20.0
Arsénico (As)	1.0	10.0	10.0
Berilio (Be)	0.5	1.0	1.0
Cadmio (Cd)	0.05	0.05	0.05
Cromo (Cr)	5.0	20.0	20.0
Cobalto (Co)	0.2	10.0	10.0
Cobre (Cu)	0.2	5.0	5.0
Plomo (Pb)	5.0	20.0	20.0
Manganeso (Mn)	2.0	---	20.0
Molibdeno (Mb)	0.005	0.05	0.05
Níquel (Ni)	0.5	2.0	2.0
Selenio (Se)	0.05	---	0.05
Zinc (Zn)	5.0	10.0	10.0

Tejada, et.al., 1983.

2.6. NORMATIVIDAD APLICABLE

La legislación Mexicana establece que las aguas residuales tratadas tienen que cumplir con normas específicas de calidad antes de que sean descargadas en una corriente de agua o bien antes de que puedan volver a usarse. Por lo general el límite máximo permisible de

contaminantes dependerá del destino final de las aguas residuales o del uso al que estarían sujetas. En México, son dos las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que regulan el reuso del agua residual tratada.

- **NOM-001-SEMARNAT-1996.** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- **NOM-003-SEMARNAT-1997.** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

La NOM-001-SEMARNAT-1996, establece diferentes usos dependiendo del cuerpo receptor (ríos, embalses, aguas costeras, suelo y humedales) y del uso para el cual sea requerido el ART. Para el uso en suelo en riego agrícola (referido a uso A en la norma), el cual se refiere a que el agua tratada es vertida en el suelo, esta norma controla los parámetros grasas y aceites, teniendo un máximo permitido diario de 25 mg/L y de 15 mg/L en promedio mensual y el parámetro de materia flotante que debe ser ausente en todo momento. También, esta norma hace referencia a algunos metales pesados que se muestran a continuación (Tabla I).

Tabla 3: Límites máximos permisibles NOM-001-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARAMETROS (*) (miligramos por litro)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano(C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIO S (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2,0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0,01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.2
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

En la NOM-003-SEMARNAT-1997, se establecen dos diferentes usos, contacto directo y contacto indirecto (Tabla II). Lo cual depende de si el usuario está expuesto directamente con el ART, o si lo hace de una forma indirecta o por contacto físico incidental. Para el caso del reuso de las aguas tratadas en Maneadero, se considera el apartado de uso directo.

Tabla IV: Límites máximos permisibles NOM-003-SEMARNAT-1997

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	5	15	30	30

2.7. LEY DE SALUD DE CALIFORNIA

Debido al gran mercado de exportación que se encuentra en los Estados Unidos de América (EUA), para los productores del valle de Maneadero, se hace referencia a las normas que rigen el reuso del ART en dicho país. En EUA el reuso del agua tratada se encuentra normado a nivel federal por parte de la Environmental Protection Agency (EPA), estableciendo los límites máximos permisibles de contaminantes tóxicos. Además, muchos de los estados cuentan con su propia reglamentación, como es el caso de California y su Ley de Salud, publicada en el 2001 y actualizada en el año 2009 en donde se desglosan varios usos para las ART. A continuación se aborda el uso del agua tratada para irrigación de acuerdo a la Ley de Salud de California:

a) Agua reciclada usada para la irrigación superficial: Dicha agua podrá utilizarse para lo siguiente:

- 1.-Cultivos comestibles, incluyendo todos los cultivos de raíces comestibles, donde el agua reciclada haga contacto con la porción comestible del cultivo
- 2.-Parques y campos de juego
- 3.-Jardines de escuelas
- 4.-Paisajes residenciales

-
- 5.-Campos de golf con acceso no restringido,
 - 6.-Cualquier otro uso de irrigación no especificado en esta sección y no prohibido por otras secciones de las regulaciones de California.

Este tipo de agua deberá haber recibido un tratamiento terciario y desinfección, excepto cuando la filtración se lleve a cabo de la siguiente manera: I.-El agua haya sido tratada mediante coagulación y pasada a través de suelo natural no perturbado, o por una cama de medio de filtración para lograr lo siguiente:

- 1) A una tasa que no exceda de cinco galones por minuto por pie cuadrado del área superficial en sistemas de filtración por gravedad con medio mono, mixta o dual, sistemas de filtración por presión o con flujo ascendente o que no exceda de dos galones por minuto por pie cuadrado del área superficial en filtros con puente movable y retrolavado automático.
- 2) Que la turbidez del agua residual filtrada no exceda cualquiera de lo siguiente:
 - A) Un promedio de dos Unidades Nefelométrica de Turbidez UNT en un periodo de 24 horas
 - B) 5 UNT por más del 5% del tiempo dentro en un periodo de 24 horas; y
 - C) 10 UNT a cualquier tiempo.

II.-Que haya pasado a través de microfiltración, ultrafiltración, nonofiltración u ósmosis inversa para que la turbidez del agua filtrada no exceda de cualquiera de lo siguiente:

- 1) 0.2 UNT por más del 5% del tiempo en un periodo de 24 horas y
- 2) 0.5 UNT a cualquier tiempo

La coagulación no requiere ser usada como parte de un proceso de tratamiento si se demuestra que:

- La turbidez del efluente no excede 2 UNT
- Que la turbidez del afluente a los filtros sea continuamente medida
- Que la turbidez del efluente no exceda de 5 UNT por más de 15 minutos y nunca exceda de 10 UNT

-
- Que exista la capacidad para activar automáticamente adición química o desviar el agua residual si la turbidez del afluente del filtro excede de 5 UNT por más de 15 minutos.

b) Agua reciclada usada para irrigación superficial de cultivos comestibles donde la porción comestible se produce encima de la tierra y sin contacto con el agua reciclada: Esta agua podrá ser utilizada en cualquier tipo de plantación de árboles frutales, siempre y cuando los frutos se encuentren por encima de la tierra y no tengan contacto con el agua residual tratada.

Esta agua deberá haber recibido por lo menos tratamiento secundario con desinfección, denominada “Agua reciclada secundaria desinfectada 2.2”. Esta calidad de agua se refiere a agua residual tratada que ha sido oxidada y desinfectada para que su concentración media de bacterias coliformes totales en el efluente desinfectado no exceda el número más probable (NMP) de 2.2 por 100 mililitros utilizando los resultados bacteriológicos de los últimos siete días para los análisis que hayan estado completados, y el número total de coliformes totales no exceda de 23 NMP por 100 mililitros en más de una muestra simple en cualquier periodo de 30 días.

c) Agua reciclada empleada para la irrigación superficial de lo siguiente deberá como mínimo ser de calidad denominada “Agua reciclada secundaria desinfectada 23”.

Se podrá utilizar en lo siguiente:

- 1) Cementerios
- 2) Jardines y paisajes de autopistas
- 3) Campos de golf de acceso restringido
- 4) Viveros ornamentales y granjas de césped donde el acceso al público no es restringido
- 5) Forraje para animales que producen leche para consumo humano
- 6) Cualquier vegetación no comestible donde el acceso es controlado para que el área irrigada no pueda ser usada si esta fuera parte de un parque, campo de juegos o jardines de escuelas.

Dicha agua deberá haber sido oxidada y desinfectada para que su concentración promedio de bacterias coliformes totales en el efluente desinfectado no exceda el NMP de 23 por 100 mililitros utilizando los resultados bacteriológicos de los últimos siete días para los análisis que hayan estado completados, y el número total de coliformes totales no exceda de 240 NMP por 100 mililitros en más de una muestra simple en cualquier periodo de 30 días.

d) Agua reciclada usada para irrigación superficial de los siguientes deberá como mínimo ser “Agua reciclada secundaria no desinfectada”. Dicha agua deberá haber sido oxidada y podrá utilizarse en:

- 1) Huertos donde el agua reciclada no haya estado en contacto con la porción comestible del cultivo
- 2) Viñedos donde el agua reciclada no haya estado en contacto con la porción comestible del cultivo
- 3) Árboles que no producen frutos comestibles
- 4) Cultivos de forrajes, fibras y pastizales para animales que no producen leche para consumo humano
- 5) Cultivos de semillas no ingeridas por humanos
- 6) Cultivos comestibles que son sometidos a procesamiento comercial en donde se logra la destrucción de patógenos antes de ser consumidos por humanos
- 7) Viveros ornamentales y granjas de césped siempre y cuando la irrigación con agua reciclada no haya ocurrido dentro por un periodo de 14 días antes de la cosecha o acceso permitido al público en general.

OTROS REQUERIMENTOS

De acuerdo a esta norma, en cualquier circunstancia donde se utilice ART se debe de cumplir con normas de seguridad y algunos otros aspectos como son el muestreo y análisis de la calidad del agua, los reportes de ingeniería, los requerimientos operacionales, requerimientos de diseño, requerimientos para los procesos unitarios, además de los requerimiento de uso de área que se refieren a que debe de existir una distancia mínima de amortiguamiento entre el ART y el pozo

de suministro de agua potable, que va de los 50 a los 150 pies dependiendo de las características del agua.

2.8. INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

La calidad del agua se puede definir en función de un conjunto de características físico-químicas, así como de sus valores de aceptación o rechazo en cuanto a su uso (Beamonte, 2004). Por lo cual los Indicadores de Calidad del Agua (en lo sucesivo denominados ICA), cumplen una función muy importante, que permite dar a conocer una gran cantidad de parámetros muestreados, en una forma clara y resumida.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), las dos funciones principales de los indicadores ambientales son:

1. Reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible a la realidad de una situación.
2. Simplificar los procesos de comunicación.

Estas funciones básicas convierten a los ICA, en un instrumento mediante el cual se suministra información concisa y sustentada científicamente a diversos usuarios, tomadores de decisiones y público en general, de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente. Los ICA surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico, buscando transmitir y simplificar información relativa a dicho recurso.

En términos simples, un ICA funciona como un indicador ambiental, dado que es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de la calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua (Torres *et al*, 2009). La clasificación de indicadores de la calidad del agua para el consumo humano, utilizada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), distingue entre indicadores primarios y secundarios. Los primarios los componen cuatro grupos:

1. Productos químicos inorgánicos (presencia de metales y compuestos).

-
2. Productos químicos orgánicos (por ejemplo, pesticidas).
 3. Sustancias radiactivas.
 4. Microorganismos.

En cuanto a los indicadores secundarios, hacen referencia a aspectos estéticos, como color, turbidez, olor, sustancias en suspensión.

Los pioneros en el cálculo del índice de calidad ICA fueron Horton (1965) y Liebman (1969). En 1970 *The National Sanitation Foundation* (NSF) utilizó la metodología Delphi, para realizar un índice de calidad de agua (WQI o ICA), tomando como base nueve parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), Oxígeno Disuelto (OD), Coliformes fecales (CF), Nitratos-Nitrógeno ($NO_3 - N$), Potencial de Hidrógeno (pH), Temperatura (T), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Fósforo total y Turbidez. Hay que mencionar que este índice en la actualidad, es uno de los más utilizados por agencias e instituciones en los Estados Unidos.

Según Helmond y Breukel (1996), en el mundo existen por lo menos 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. Prácticamente todos estos índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros: OD, DBO_5 , Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno en forma amoniacal y de Nitratos ($NH_4 - N$ y $NO_3 - N$), Fósforo en forma de ortofosfato ($PO_4 - P$), pH y Sólidos Totales (ST).

En México, el primer índice de calidad de agua, se aplicó para la cuenca hidrológica de Jalisco “INDIC-SEDUE”, y tuvo un uso común en la antigua Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), en el Departamento de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de la Subdelegación de Ecología de la Delegación SEDUE-Jalisco. Este ICA está basado en el índice desarrollado por Dinius y modificado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de la SEDUE y sirvió para categorizar el uso al que puede destinarse el agua de la cuenca hidrológica en estudio (Montoya *et al.*, 1997). Posteriormente, se empleó un ICA para aguas superficiales, el cual utilizó 18 parámetros fisicoquímicos entre los que se encuentran la DBO_5 , OD, CF, Fosfatos, pH y SST. Con el objetivo de denotar el deterioro de la calidad del líquido. En el año 2000, la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) contaba en su red primaria con 403 estaciones permanentes, de las cuales 215 se ubicaban en

cuerpos de agua superficiales, 45 en zonas costeras y 143 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 244 estaciones semifijas o móviles, de las cuales 227 estaban localizadas en aguas superficiales y 17 en zonas costeras (SEMARNAT, 2002).

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El acuífero de Maneadero se encuentra sobreexplotado, con un déficit 4.96 millones de m³ anuales que se extraen del subsuelo (CONAGUA, 2002). Ésto ha traído problemas de infiltración de cuña salina. Una de las opciones para contrarrestar este problema y llevar el acuífero a un nivel de equilibrio hidrogeológico, es la reutilización de ART para el riego de productos agrícolas. Se estima que el agua residual tratada desperdiciada por la ciudad de Ensenada, representa un costo de alrededor de 47.3 millones de pesos anuales, es decir más de 470 millones de pesos en la última década, considerando el precio del agua tratada en el mercado de tres pesos por m³ (Daessle, 2009).

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE) vierte a la bahía de Todos Santos al menos 0.5 metros cúbicos por segundo de ART equivalente a por lo menos 15.8 millones de metros cúbicos al año. Esto representa más de la mitad de la extracción anual total del acuífero de Maneadero. El ART podría utilizarse para el riego de productos agrícolas, algo común en nuestro país. Ejemplos de ello son el caso del valle de Tula, el distrito de riego con aguas residuales más grande del mundo (Jiménez, 2005), o el distrito de riego 014 en el valle de Mexicali (Tapia *et al.*, 2011).

En el caso del valle de Maneadero, el uso de ART es un tema que se trata con mucho recelo, debido a los temores y riesgos que existen al momento de exportar sus productos agrícolas al mercado de EUA, lo cual ha detenido su aplicación, a pesar de que de acuerdo al Plan de Manejo Integrado del Agua para el Acuífero de Maneadero (2002), la reutilización de agua tratada representa la mejor opción para la recuperación del equilibrio del acuífero y que el gobierno del estado invirtió 80 millones de pesos en infraestructura para transportar y almacenar las aguas residuales tratadas de la planta del Naranjo.

Por esta razón, se realizó en este trabajo un índice de calidad del agua residual tratada, buscando informar a los usuarios directos e indirectos sobre las ventajas y riesgos de utilizarlas, así como las recomendaciones y normatividad relacionada al reuso de ART en el valle de Maneadero.

4. OBJETIVOS

General

Desarrollar un Índice de Calidad del Agua Tratada para los usuarios agrícolas en el valle de Maneadero

Particulares

- Analizar los **parámetros históricos** del agua tratada de la plantas de El Naranjo Ensenada, con apego a la normas oficiales mexicanas (NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-001-SEMARNAT-1996 y Ley de Salud de California).
- Generar un **índice de calidad** de agua, que pueda servir para medir la calidad del agua residual tratada
- Integrar **recomendaciones de manejo** para el aprovechamiento del agua residual tratada

5. ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica aproximadamente a 13 km al sur de la ciudad de Ensenada, B. C., la principal vía de acceso es por la Carretera Federal No. 1 transpeninsular Tijuana - La Paz y el resto del área se comunica por caminos de terracería transitables durante todo el año.

El acuífero de Manadero es alimentado por la cuenca del valle de Maneadero que se localiza en la porción noroccidental del Estado de Baja California, entre las coordenadas geográficas de 31° 30' a 31° 50' de latitud norte y 116° 05' a 116° 15' de longitud oeste. Limita al norte con las cuencas de Ensenada, Ojos Negros y Real del Castillo; al sur con Santo Tomás; al este con las cuencas de

Laguna Salada y San Vicente y al oeste con el Océano Pacífico. Está integrada en la Región Hidrológica No. 1 de la vertiente del Océano Pacífico; cubre una superficie de 1,866 km² (Figura 2), por su dimensión se clasifica como intermedia -grande (500 a 2,500 km²), y presenta diversos climas sujetos al relieve topográfico.



Figura 2: Localización del valle de Maneadero (tomado de: Desarrollo y Sistemas S.A., 2002)

El clima es predominantemente seco templado (BSk) caracterizado por la ocurrencia de más del 36% de la precipitación en invierno. De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988); este comportamiento se presenta, en toda el área del acuífero y planicie costera. El agua depende directamente de los volúmenes que escurren de los arroyos que alimentan al sistema acuífero. El acuífero de Maneadero es de tipo libre, con una formación de materiales de alta porosidad y permeabilidad capaz de almacenar y transmitir grandes cantidades de agua. Tiene una profundidad media de 105 metros y una capacidad de almacenamiento de 637.5 Mm³. Una de las principales fuentes de agua del acuífero es el arroyo San Carlos, originado en la Sierra de Juárez y con una superficie de 865.2 km². La otra fuente importante es el arroyo Las Ánimas, con una superficie de 1021 km². Ambos arroyos aportan agua solo en periodos de lluvias continuas por lo que la única fuente de abastecimiento de agua para la zona es a través de aguas subterráneas. Dado que los arroyos están constituidos por materiales granulares altamente

permeables que han sido depositados a lo largo de sus cauces, la respuesta de los niveles freáticos es prácticamente inmediata y es posible tener recuperaciones en ciclos de lluvias extraordinarias (CONAGUA, 2002).

De acuerdo con el censo de población del INEGI (2010), la localidad cuenta con 15,904 personas económicamente activas de las cuales 65% son mujeres y el 35% hombres. El sector primario se encuentra representado por actividades agrícolas, ganaderas, pesqueras y mineras. La agricultura y la ganadería son las que tienen mayor presencia también hay actividades como la floricultura, extracción forestal y minería con porcentajes menores al 10% (Figura 3)



Figura 3: Actividad primaria en el valle de Maneadero.

El valle de Maneadero cuenta con aproximadamente 484 parcelas ejidales, las cuales en conjunto abarcan cerca de 5,346 ha. De estas sólo en 150 ha se han implementado invernaderos y 42 ha malla sombra. La producción dentro de las actividades agrícolas se encuentra diversificada entre algunas clases de hortalizas y flores; entre los que se pueden mencionar por importancia el tomate, olivo, chícharo, cebollines y algunos tipos de flores. De igual manera se cultivan en menor medida forrajes como la alfalfa, cebada, trébol y centeno. De la producción total la mayor

parte está destinada fundamentalmente a la exportación, esencialmente para el mercado norteamericano (SEFOA, 2009).

6. METODOLOGÍA

El esquema metodológico (Figura 4) que sirvió de guía para la presente investigación, se basa en un enfoque interdisciplinario, el cual busca la inclusión de técnicas cuantitativas y cualitativas. Esto es debido a que se pretende incorporar una metodología mixta que permita abarcar la complejidad del sistema socio-ambiental e integre los componentes que cada una de estas visiones que por su naturaleza brindan.

Esquema metodológico

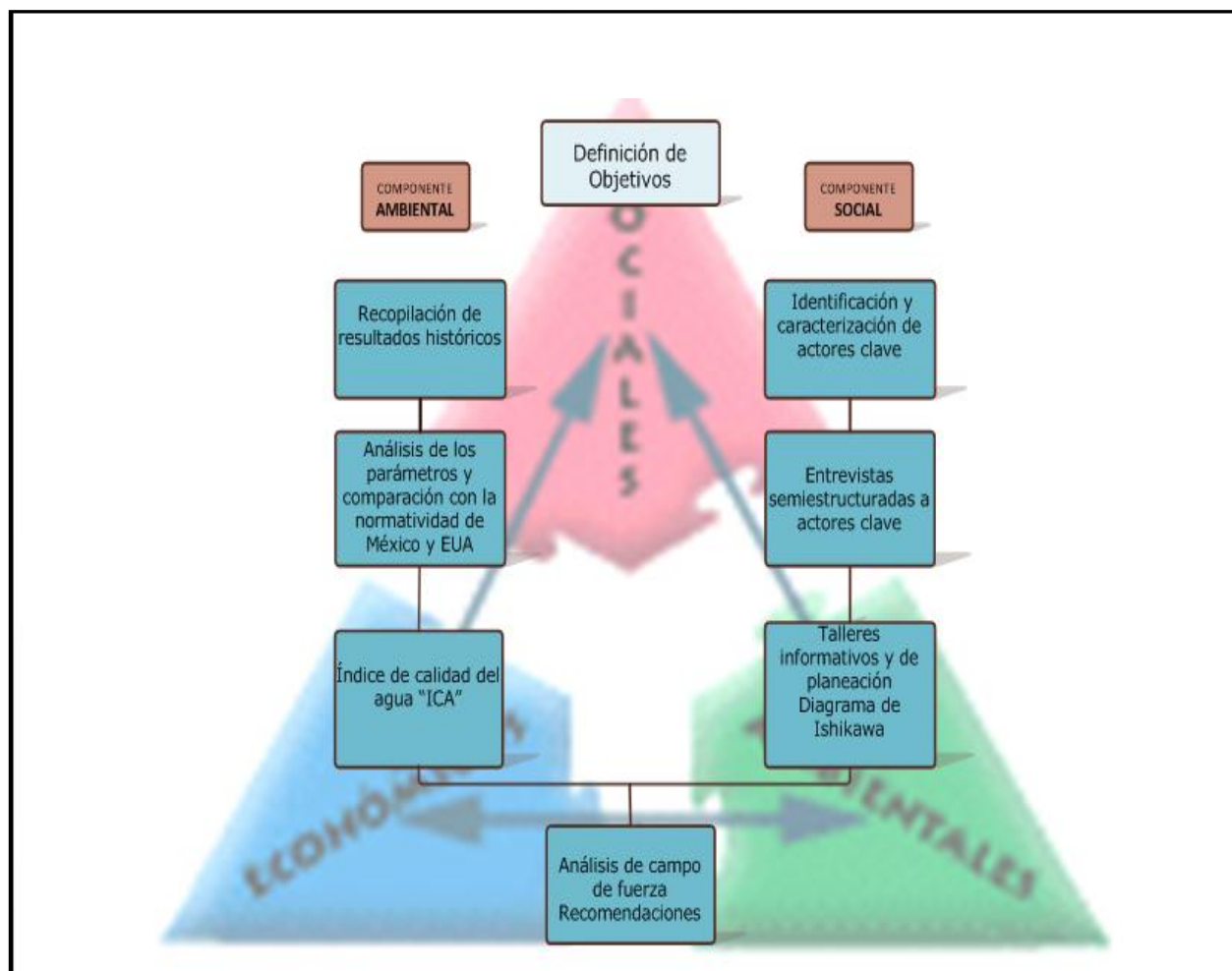


Figura 4: Esquema metodológico

En el presente estudio se analizó la calidad del agua residual tratada de la planta El Naranjo para el reuso en la agricultura del valle de Maneadero.

Para esto, en primer lugar, se analizaron los parámetros históricos del agua residual tratada de la planta del Naranjo, proporcionado por el laboratorio de Calidad del Agua de la UABC con apego a las Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-001-SEMARNAT-1996. En una segunda fase se consideró esta información, para generar un ICA con el objetivo de poner al alcance de los usuarios de Maneadero, los resultados del análisis de la planta del Naranjo en un lenguaje sencillo. En tercer lugar se sistematizó la información existente referente al reuso de agua tratada, para presentarla en forma accesible a los usuarios. Y por último se integraron recomendaciones de manejo para el reuso del agua tratada para el valle de Maneadero.

A continuación se describe el componente ambiental y social del diagrama metodológico.

6.1. COMPONENTE SOCIAL

El componente social, se desarrolló en una primera instancia mediante la recopilación de fuentes bibliográficas, como fueron las tesis de Licona (2011) y Muñoz-Ramírez (2006) de la Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma de Baja California, en donde se trató el tema del agua en Maneadero, y se logró un primer acercamiento con los actores involucrados en el tema de agua en el área de estudio.

Con la recopilación de esta información, así como las observaciones que se realizaron durante diversas visitas al área de estudio, se identificaron a los actores y organizaciones que de forma directa o indirecta se relacionan con el tema de estudio. Para llevar a cabo la identificación de actores, se trabajó con la metodología de Sorensen *et al*, (1992) en donde los actores son divididos en cuatro ámbitos de acción: local, estatal, federal e internacional, adicionalmente los actores se agruparon de acuerdo a su grado de organización y se separaron los actores estructurales en sociedad civil y sociedad no organizada, ya que de esta forma se puede diferenciar el peso político que cada grupo tiene.

Una vez identificados los actores y grupos clave, se desarrolló una serie de entrevistas, con preguntas acordes al perfil del entrevistado. Se decidió escoger una entrevista semiestructurada, ya que según Bernard (citado en Peón Vela Fortino, 1988) estas funcionan adecuadamente en aquellas investigaciones que se interesan por interrogar a administradores, burócratas o miembros de elite de alguna comunidad, que tienen poco tiempo, lo que permitió obtener información relevante para el desarrollo de la tesis. Por esta razón, fue necesaria la elaboración de un guión (Anexo 2), que sirvió como guía para el desarrollo de la entrevista, con el fin de conocer la percepción que tienen los actores involucrados, respecto al tema de reuso de agua tratada para el riego de productos agrícolas.

Posteriormente, con la información recopilada en las entrevistas y la observación realizada en diversas visitas al área de estudio, se reclasificó a los actores de acuerdo a la metodología propuesta por Fischer (1999), la cual ubica a los actores, en categorías que permiten vislumbrar el grado de involucramiento y responsabilidad que tienen éstos respecto al tema de estudio.

Posteriormente se realizaron dos talleres informativos, durante los cuales se desarrolló la herramienta “diario de campo” la cual ayudó a capturar información relevante. El primero de estos talleres, se realizó con el apoyo del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS), el cual es un organismo auxiliar de la Comisión Nacional del Agua, integrado por vocales que son usuarios del agua del acuífero de Maneadero. Este taller se llevó a cabo en las instalaciones del ejido Rodolfo Sánchez Taboada, teniendo como principal objetivo presentar el proyecto de tesis, e informar sobre algunas problemáticas del acuífero de Maneadero.

En el segundo taller, se aplicaron una serie de cuestionarios al Comité de Agua de Maneadero el cual esta formado por un grupo de ejidatarios elegidos al interior del ejido por su conocimiento para tratar temas relacionados al agua. Además, se presentó la propuesta de índice de calidad del agua tratada, así como la normatividad de México y California, referente al reuso de ART. Por último se aplicó una herramienta conocida como diagrama de Ishikawa (Fisher, 1999), la cual consiste en enunciar un problema mediante una representación gráfica en forma de pescado, de la cual se desprenden las probables causas en forma de espinas. Para integrar las recomendaciones de manejo para el aprovechamiento del agua tratada, se elaboró un análisis denominado campo de fuerza (Fisher, 1999), el cual consiste en analizar las fuerzas que empujan y sujetan la alternativa

del reuso, esto con el fin de vislumbrar la viabilidad política de la alternativa, y atacar las fuerzas que sujetan mediante acciones específicas.

6.2. COMPONENTE AMBIENTAL

El análisis del efluente de la planta de tratamiento del Naranjo, se realizó con base en los resultados del laboratorio de calidad del agua de la UABC del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO). Dicho laboratorio, se encuentra acreditado por la norma *International Organization for Standardization* (ISO-9001:2008).

A continuación se muestran los parámetros estudiados y la norma que los guía:

- 1.-Temperatura (T).** Norma: NMX-AA-007-SCFI-2000
- 2.-pH.** Norma: NMX-AA-008-SCFI-2000
- 3.-Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Norma: NMX-AA-034-SCFI-2001
- 4.-Sólidos Sedimentables (SS).** Norma: NMX-AA-004-SCFI-2000
- 5.-Grasas y Aceites (G-A).** Norma: NMX/AA/05/SCFI/2000
- 6.-Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅).** Norma: NMX-AA-028-SCFI-2001
- 7.-Coliformes Fecales Totales (CF).** Norma: NMX-AA-042-1987
- 8.-Huevos de Helminthos (HH).** Norma: NMX-AA-113-SCFI-1999
- 8.-Turbidez (Tu).** Norma: NMX-AA-038-SCFI-2001
- 9.-Sólidos Disueltos Totales (SDT).** Norma: NMX-AA-034-SCFI-2001

A partir de los parámetros: DBO₅, SST, SS, HH, CF, G-A, de la planta El Naranjo, facilitados por el Laboratorio de Calidad del Agua del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO), se analizaron los resultados de los últimos cinco años (2007-2011). Posteriormente, utilizando las normas Mexicanas referentes al reuso de agua tratada NOM-003-SEMARNAT-1997 (contacto directo) y la NOM-001-SEMARNAT-1996 (Suelo “uso en riego agrícola A”) se compararon con los resultados del laboratorio para saber el grado de cumplimiento. También se examinaron los resultados de los elementos arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y

cianuros por parte del laboratorio “ABC Química Investigación y Análisis S.A. de C.V”, referente a metales pesados para el periodo de enero del 2011 a febrero del 2012.

6.2.1 Generación del índice de calidad de agua

Tomando como referencia el modelo teórico del índice de calidad del agua “Wastewater Polishing Index (WWPI) de Verlicchi Paola, *et al* (2010) se desarrolló un ICA que fuera aplicable a la normatividad de México, para lo cual se hicieron algunas modificaciones, respecto a la selección de los parámetros: Tu, pH, SST, SS, DBO₅, G-A, CF, Tu y SDT además de incluir diferentes ponderadores y agregar un sistema de semáforos.

Selección de parámetros

Los parámetros seleccionados para el índice propuesto, son los requeridos por la normatividad Mexicana, siendo estos T, pH, SST, SS, DBO₅, G-A, CF, así mismo se consideró la opinión de expertos y usuarios del valle de Maneadero. Razón por la cual se agregaron los parámetros secundarios de Tu y SDT.

Determinación del subíndice para cada parámetro

Para integrar los parámetros mencionados, se transformaron las variables de una escala dimensional a una escala adimensional. Esto se realizó mediante la selección de valores nominales para cada parámetro, en este caso se consideró, el valor máximo y mínimo permitido, de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997. En el caso del pH y la Turbidez, estos son tomados de la NOM-127-SSA1-1994. Solamente para el caso específico de los Sólidos Disueltos Totales, se considero lo establecido en el libro de Mujeriego (1990). Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se compararon con los valores nominales para cada parámetro y de dicha comparación se obtuvo un valor parcial, pudiendo ser este cero o uno.

Determinación del índice por agregación de los indicadores:

Una vez que el valor de muestreo se comparó con la norma y se le asignó un valor parcial a esta comparación (0 o 1), se prosiguió a unificar la información por medio de las fórmulas matemáticas que se muestran a continuación.

El **Indicador Físico (IF)** se compone por los parámetros Temperatura, Potencial de Hidrógeno, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, Turbidez y Sólidos Disueltos Totales.

$$IF= T+pH+SST+SS+Tu+SDT$$

El **Indicador Químico (IQ)** por el parámetro de Grasas-Aceites, y Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días.

$$IQ= GyA+DBO_5$$

Mientras que el **Indicador Bacteriológico (IB)** se compone por el parámetro de Coliformes fecales.

$$IB= CF$$

Ponderadores

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), se debe dar prioridad a aquellas sustancias que se sabe son de importancia para la salud, y que sean conocidas por estar presentes en grandes concentraciones en las fuentes de abastecimiento de agua.

Con la ayuda de expertos y usuarios del valle de Maneadero, se llevó a cabo la asignación de ponderadores, mediante la aplicación de una serie de cuestionarios. Los usuarios a los que se les aplicó el cuestionario, fueron seleccionados por su conocimiento en el tema del agua y/o por pertenecer al Comité del Agua del ejido de Maneadero.

El grupo de expertos fue conformado por el encargado del campo experimental de riego con aguas tratadas, un académico de la UABC experto en aguas residuales, y el presidente de COTAS Maneadero. Una vez aplicados los cuestionarios, se analizó cada uno por separado y posteriormente se promediaron los resultados, para obtener un ponderador final. Por último, este ponderador final se incorporó al modelo matemático, en el cual se sustituyen los valores de los muestreos y se obtiene el ICA. A continuación se muestra la formula.

$$ICA = \sum_{i=1}^n X_i = (0.49*IF) + (0.2*IQ) + (0.31*IB)*100$$

Donde:

ICA =Índice de calidad de agua

IF=Indicador Físico

IQ=Indicador Químico

IB=Indicador Bacteriológico

Para brindar mayor información a los usuarios potenciales del agua, se integró al ICA el nombre del parámetro fuera de rango, así como el concepto de Amplitud. Este último se determina por el número de parámetros que exceden la norma, entre el total de parámetros muestreados. A continuación se muestran las fórmulas utilizadas:

$$A = PFN/PT$$

$$A = \text{Amplitud}$$

PFN=Parámetros fuera de norma

PT=Número de parámetros totales

6.2.2 Aplicación de ICA

El desarrollo del ICA se dividió en dos partes. La primera parte comprende el periodo del 18 de octubre del 2011 al 21 de junio del 2012, tiempo en que se llevó a cabo el análisis de los parámetros de Sólidos Disueltos Totales y Turbidez en el Laboratorio de Calidad de Agua, teniendo un total de 32 muestreos analizados.

Posteriormente, se aplicó el ICA para el periodo (2007-2011), complementándolo con los 32 muestreos obtenidos durante el 18 de octubre del 2011 al 21 de junio del 2012. Para esto se sacó un promedio de estos 32 muestreos que posteriormente se utilizó como parámetro de SDT Turbidez en el ICA del periodo 2007-2011, y con estos resultados del ICA, se construyó una gráfica con la calidad de las ART.

7. RESULTADOS

7.1. COMPONENTE SOCIAL

7.1.1. Identificación de actores

Para conocer la percepción que se tiene relativo al tema del reuso del agua tratada, primeramente se identificó a los actores y organizaciones que de forma directa o indirecta tienen participación, intereses o vínculos en el acuífero de Maneadero (Tabla V).

Tabla V: Identificación de actores

Sector/Nivel	Local	Estatad	Federal	Internacional
Gobierno	CESPE	Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA), Comisión Estatal del Agua (CEA)	CONAGUA, Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SEGARPA), INIFAP, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)	California Department of Public Health
Sociedad Civil	Ejido Maneadero COTAS Maneadero Proesteros	Sistema Producto Flor Comerciantes	Comerciantes	Comerciantes
Académico	UABC, CICESE, CBTA #198	UABC, Universidad Tecnológica de Tijuana (UTT)		
Sociedad No organizada	Arrendatarios Jornaleros Vecinos			

A nivel gubernamental se identificaron las instancias encargadas de regular el reuso del ART y que poseen las facultades para incentivar o detener una propuesta de esta índole. Dado que los tres niveles de gobierno tienen injerencia sobre el tema de reuso del ART, es importante que exista una coordinación cercana entre el nivel local, estatal y federal, y que de esta forma se puedan alinear los intereses y objetivos de cada una de las diferentes instancias pueden llegar a tener.

En el recuadro de la sociedad civil se muestran los grupos que de una u otra forma se encuentran organizados y que por esta razón, tienen un mayor poder en la toma de decisiones. Mientras que para el caso contrario de la sociedad no organizada, en donde estos grupos de personas al no tener una estructura organizada, carecen de poder suficiente, para incidir en la toma de decisiones.

Por último se encuentra el sector académico integrado principalmente por las universidades y centros de investigación, los cuales son un grupo importante en la investigación, así como punto de encuentro entre sociedad y gobierno.

De la Tabla V, se seleccionaron algunos actores que representaran diferentes sectores, con la finalidad de aplicarles una serie de entrevistas, y así conocer más acerca de la percepción que tienen respecto al reuso de las aguas tratadas, e identificar qué tan a favor o en contra se encuentran respecto a esta alternativa. A continuación se muestra una parte de las entrevistas realizadas a los actores que fue posible consultar. La transcripción completa de las entrevistas se adjunta en el Anexo 3.

Debido al trabajo realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el campo experimental de reuso de ART en la planta del Naranjo, fue conveniente realizarle una entrevista semiestructurada al encargado del proyecto. *“Este proyecto surge por iniciativa de los floricultores y es avalado por el INIFAP. Consiste en analizar la calidad del agua y suelo del campo experimental de flores en la planta del Naranjo regadas con ART para un periodo de tres años”*. Entre los parámetros analizados se encuentran: huevos de helminto, salmonelosis y contenido de sales.

Los resultados obtenidos en el primer año arrojaron que no se encontró contaminación por coliformes fecales, huevos de helminto, o *salmonella* en el suelo a una profundidad de 0 a 60 cm. Además el uso de las aguas residuales tratadas, no impidió alcanzar los parámetros de calidad comercial de flor de girasol. Adicional a esto, las aguas residuales contienen cantidades importantes de nutrientes, que permitieron reducir significativamente las dosis de fertilizantes sintéticos (CESPE, 2010). Esta información resulta trascendente, ya que demuestra las ventajas del reuso de ART para algunos productos; por lo que fue conveniente realizar una entrevista al presidente del Sistema Producto Flor, para conocer su opinión y ahondar más en el caso. Respecto al por qué no se ha podido utilizar el agua tratada en el valle de Maneadero, el encargado del campo experimental ubicado en la planta de El Naranjo cree que se debe a la *“Percepción que tienen los ejidatarios, y el miedo a que les rechacen sus productos a la hora de exportarlos, así como el incumplimiento del acuerdo para regresar aguas residuales a Maneadero. Precio del agua tratada m³”*. A continuación se muestra un análisis de la entrevista realizada el 10 de febrero del presente año.

En el valle de Maneadero se cultivan 320 hectáreas de flores de exportación, producidas por cuatro productores diferentes, quienes rentan las tierras a ejidatarios del valle, un sólo productor posee 180 hectáreas. En su opinión, *“mientras no exista una reorganización de uso de suelo en las tierras de Maneadero, difícilmente se podrá llevar a cabo un proyecto con Aguas Residuales Tratadas, ya que los productores de flor tienen la intención de usarlas, pero si alrededor de sus cultivos existen productores de hortalizas, estos no permitirán el riego con las ART por temor a que en sus cultivos pudieran contaminarse”*.

Posteriormente con la información obtenida de las entrevistas, y mediante la observación realizada en diferentes visitas a la zona de estudio, se clasificaron a los actores de acuerdo a la metodología propuesta por Fischer (1999), en la cual se ubica a los actores en categorías que permiten identificar el grado de involucramiento y responsabilidad que éstos tienen en relación al problema planteado (Tabla VI).

Tabla VI: Identificación de actores metodología Ficher

GRAN PODER/GRAN APOYO COTAS MANEADERO SISTEMA PRODUCTO FLOR EXDIPUTADO FEDERAL	POCO PODER/GRAN APOYO UN SECTOR DE EJIDATARIOS
CESPE, CONAGUA, INIFAP SEFOA,CEA Legisladores, reguladores	UABC, CICESE, CBTa #198, UTT, Proesteros Expertos, medios
GOBIERNO DEL ESTADO EJIDO MANEADERO GRAN PODER/POCO APOYO	UN SECTOR DE EJIDATARIOS ARRENDATARIOS JORNALEROS VECINOS POCO PODER/POCO APOYO

Como se observa en la tabla anterior, dentro del sector “gran poder/gran apoyo” se encontró un grupo de ejidatarios encabezados por el presidente de COTAS Maneadero, así como un ex diputado Federal y el Sistema Producto Flor de Baja California, interesados en la alternativa de utilizar las aguas tratadas para el valle de Maneadero; mientras que en gran poder/poco apoyo existen actores organizados, como es el caso del ejido Rodolfo Sánchez Taboada “Maneadero”, y el gobierno del estado, que pese al gran poder que tienen respecto a la alternativa del reuso de las aguas tratadas, no lo apoyan en su totalidad.

Con poco poder y gran apoyo, se encuentran ejidatarios en lo individual que se encuentran interesados en el reuso. Con poco poder y poco apoyo se hallan ejidatarios, arrendatarios, jornaleros y vecinos del valle de Maneadero.

Es importante mencionar que estas posiciones son relativas en el tiempo y pueden cambiar de acuerdo a reacomodos sociales, como son: cambios de mesas directivas, reacomodos en gobierno, entre otros factores, lo que provoca que el poder para fomentar una acción sea limitado al tiempo que dura su administración. También es notoria la poca articulación que existe entre los actores involucrados, aun cuando estos se encuentran apoyando el reuso del agua residual tratada, no existe una buena comunicación entre ellos, lo que provoca acciones desarticuladas.

7.1.2. Reuniones informativas

Se llevaron a cabo dos reuniones informativas en el ejido de Maneadero, con el objetivo de informar sobre algunas problemáticas del acuífero, así como validar los parámetros y ponderadores del ICA. Estas reuniones fueron convocadas por COTAS, así como por parte de la Maestría en Manejo en Ecosistemas en Zonas Áridas de la UABC.

Para la primera reunión informativa que se llevó a cabo en el salón de usos múltiples de la casa ejidal (Figura 5), se hizo una exposición con algunos de los temas que se detectaron serían de interés para los usuarios del acuífero de Maneadero, además de que se llevó a efecto la presentación formal del proyecto de tesis. En el anexo cuatro se presentan el análisis e interpretación del diario de campo que se elaboró en dicha ocasión, en el cual se documentaron las principales preocupaciones de los usuarios respecto a las ART.

A continuación se presentan los puntos más importantes.

- Existe una disminución de concesiones de agua, por parte de CONAGUA para los usuarios del valle de Maneadero, lo que ha provocado que algunos de ellos tengan una reducción en la cantidad de agua, y por ende una baja en la producción, motivo por el que buscan alternativas; caso específico: conformar un banco de agua.

- Se observa una desconfianza generalizada por los usuarios del agua de Maneadero en el tema del agua residual tratada y del que no se pudiera continuar con la exportación de sus productos a los EUA, su principal mercado. Sin embargo, se reconoce que no solamente depende de la calidad del agua, sino también de los intereses de los agricultores y del mercado interno de las entidades federativas adonde se exporta, entre otros factores políticos.
- Existe un desconocimiento de la normatividad aplicable.
- Al ser la mayoría de ejidatarios, productores de hortalizas y legumbres, su interés principal es que el agua sea apta para el riego de estos productos.
- Falta de interés por parte de los usuarios para asistir a talleres de uso de agua tratada en floricultura.
- Existen casos en que se está regando con agua que presenta alta salinidad, y se les ha vendido un producto que según comentan permite regar sus cultivos con agua con altas concentración de sales, por lo que es conveniente investigar este tema.



Figura 5: Inicio de la reunión promovida por COTAS Maneadero.

En la segunda reunión informativa realizada en la sala de usos múltiples de la casa ejidal, convocada por la UABC (MEZA-FC) y COTAS Maneadero, se mostró la propuesta del índice de calidad del agua residual tratada. Además se aprovechó la ocasión para presentar la normatividad aplicable en México y California, tema que en la primera reunión informativa, despertó el interés

general. Además se aplicaron una serie de cuestionarios al Comité de Agua de Maneadero, el cual está integrado por un grupo de ejidatarios expertos en el tema del agua, con la finalidad de obtener una validación del índice propuesto, así como para establecer los ponderadores que cada uno de los parámetros (Anexo 5).

7.1.3. Diagrama de Ishikawa

Con el fin de observar las implicaciones y causas que originan el que no se estén utilizando las aguas tratadas en el valle de Maneadero, se desarrolló el diagrama de Ishikawa que se muestra a continuación (Figura 6).

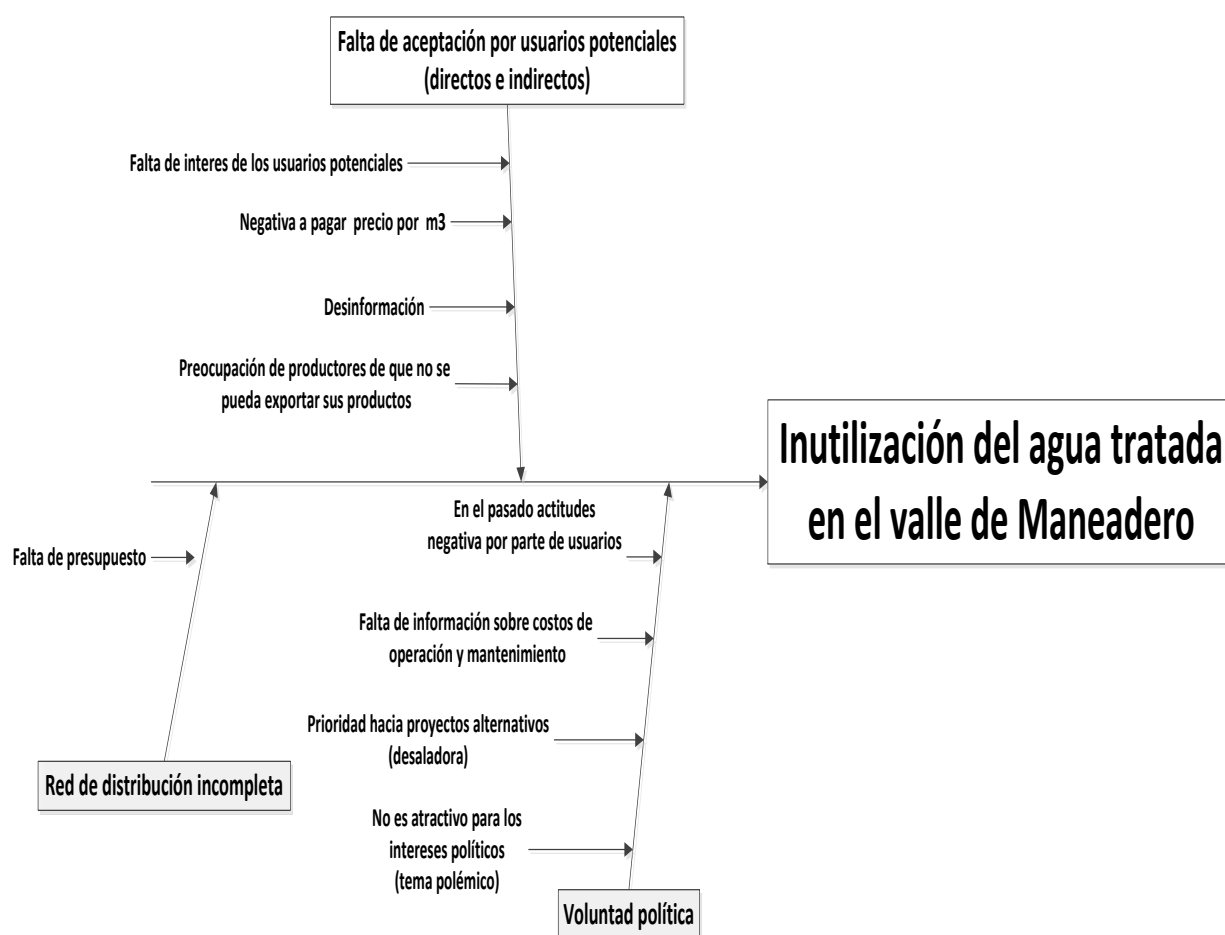


Figura 6: Diagrama de Ishikawa

Como problema se enuncia la “Inutilización del agua tratada en el valle de Maneadero”. De esta problemática se detectaron tres causas-raíz: 1.-La falta de aceptación por parte de los usuarios

potenciales (ejidatarios y arrendatarios). 2.- Red de distribución incompleta para llevar las ART a las parcelas. 3.- Falta de voluntad política para llevar a cabo el reuso de aguas tratadas. Estas causas son de tres tipos la primera esta relacionada con la percepción social y se requiere de información sobre las preocupaciones de los usuarios; la segunda es de equipamiento y se necesita financiamiento para cubrir la red y la tercera del trabajo coordinado de la sociedad y gobierno.

7.2. COMPONENTE AMBIENTAL

7.2.1 Análisis de la calidad del agua de la planta El Naranjo

El análisis del efluente de la planta de tratamiento del Naranjo, se realizó con base a los resultados del laboratorio de Calidad del Agua de la UABC que se encuentra acreditado por la norma *International Organization for Standardization* (ISO-9001:2008), y el total de análisis efectuados son conforme a las Normas Mexicanas (NMX). A continuación se muestran los resultados de los parámetros: SST, SS, G-A, MF, CF, DBO₅ y HH. Estos resultados se comparan con lo permitido por la Normatividad Oficial Mexicana para el periodo del 2007-2011(Figura 7 a 10).

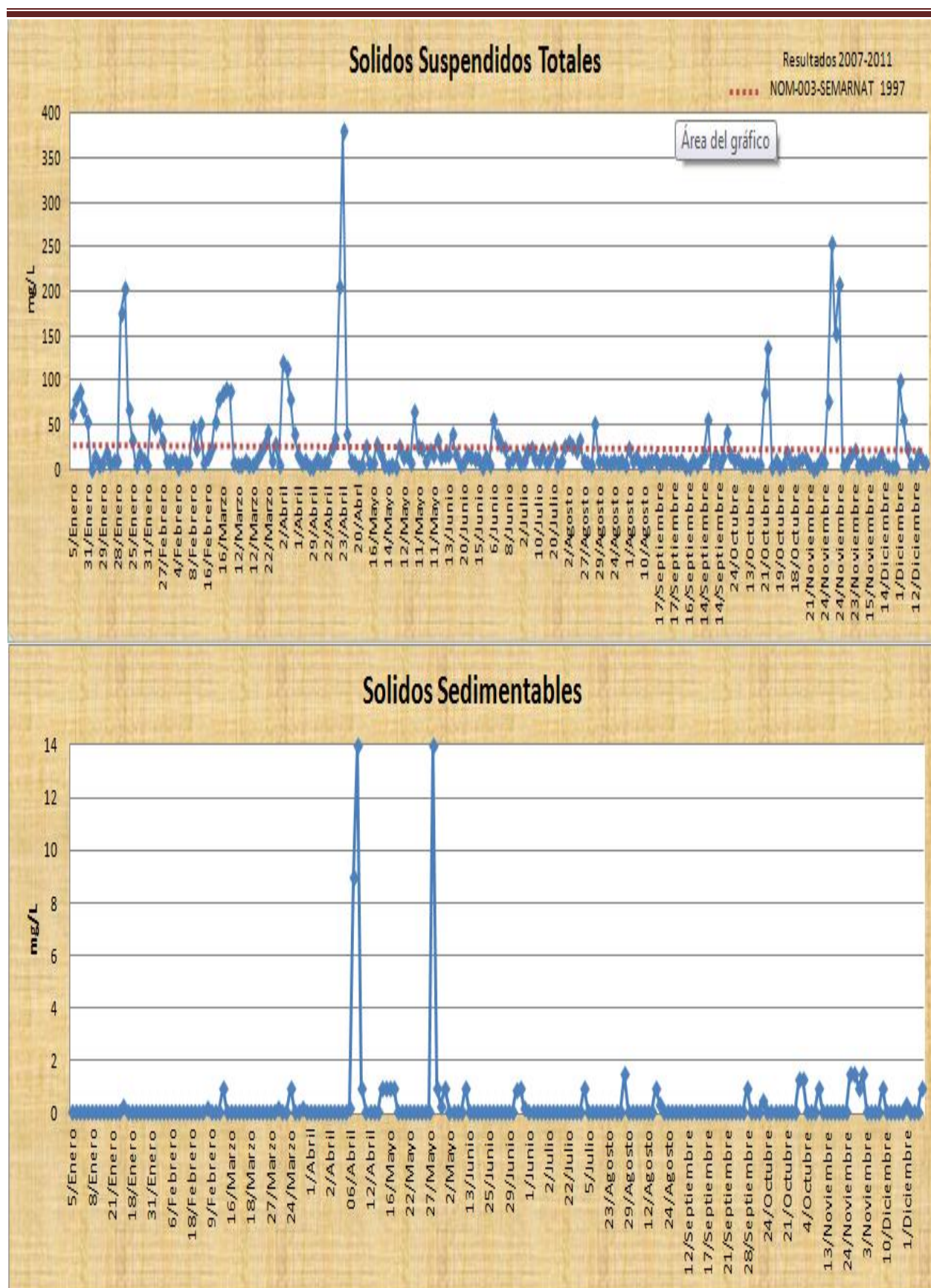


Figura 7: Gráficas de SST y SD de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011

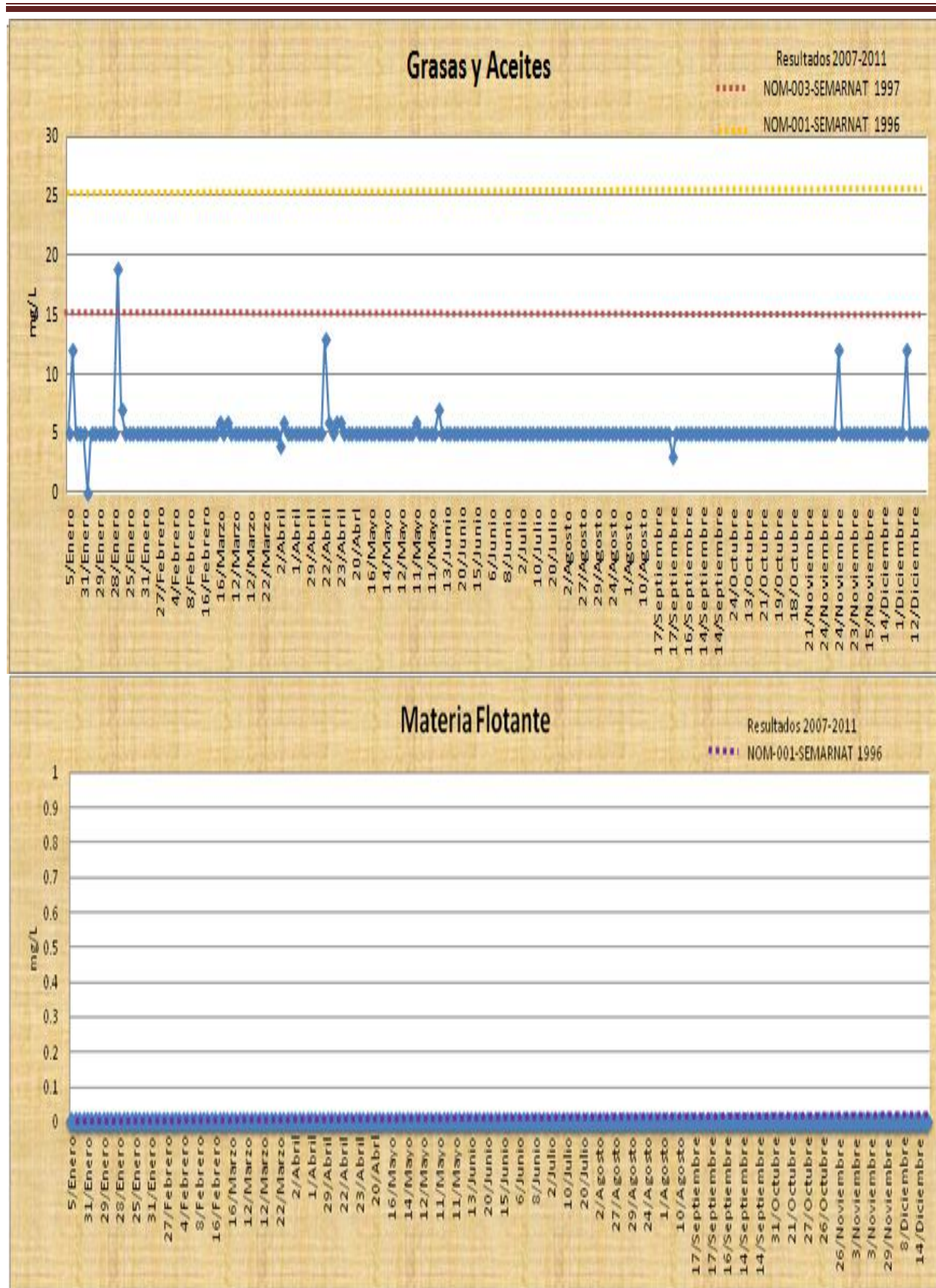


Figura 8: Gráficas de G-A y Materia flotante de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011

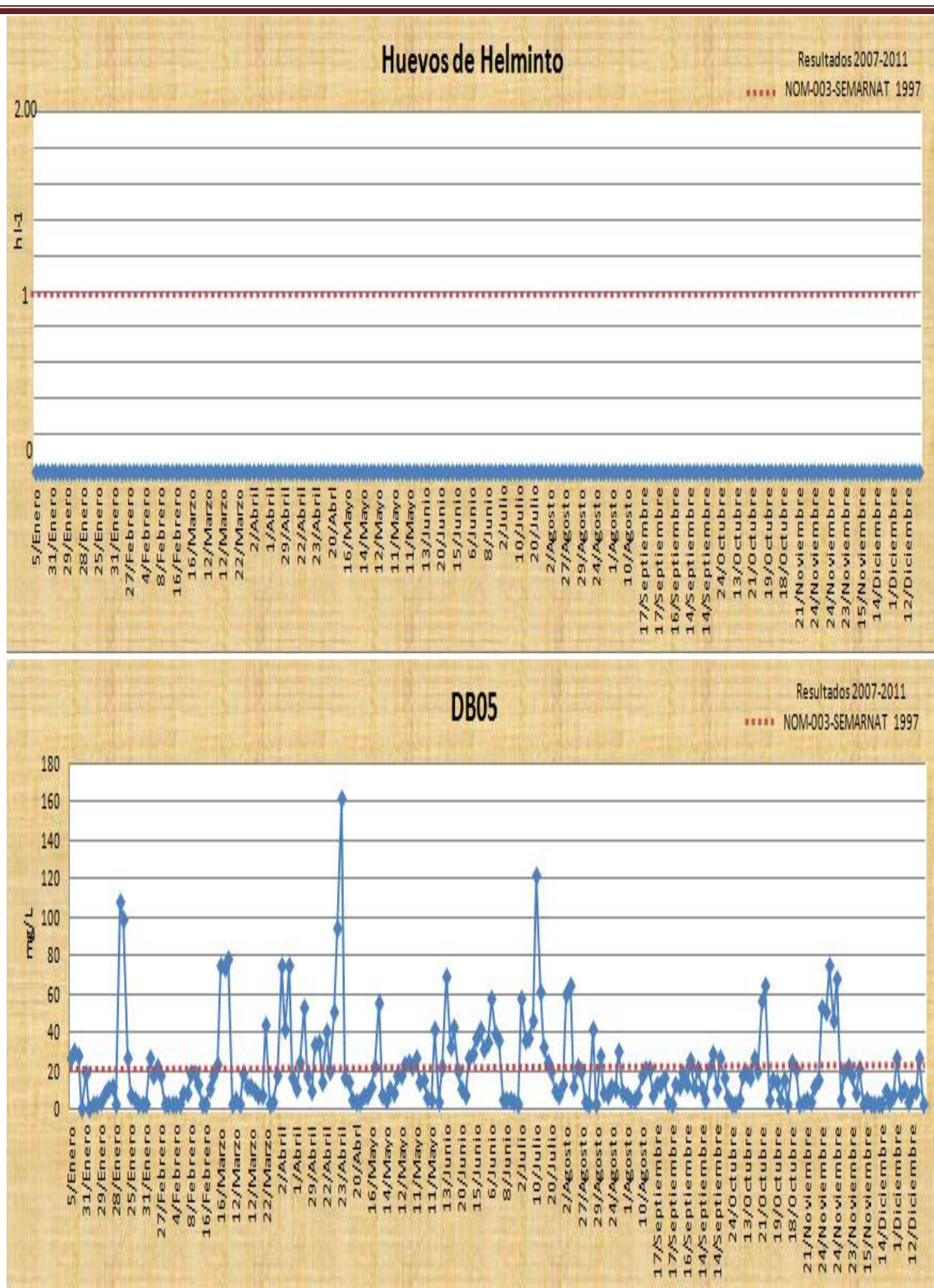


Figura 9: Gráficas de HH y DBO₅ de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011

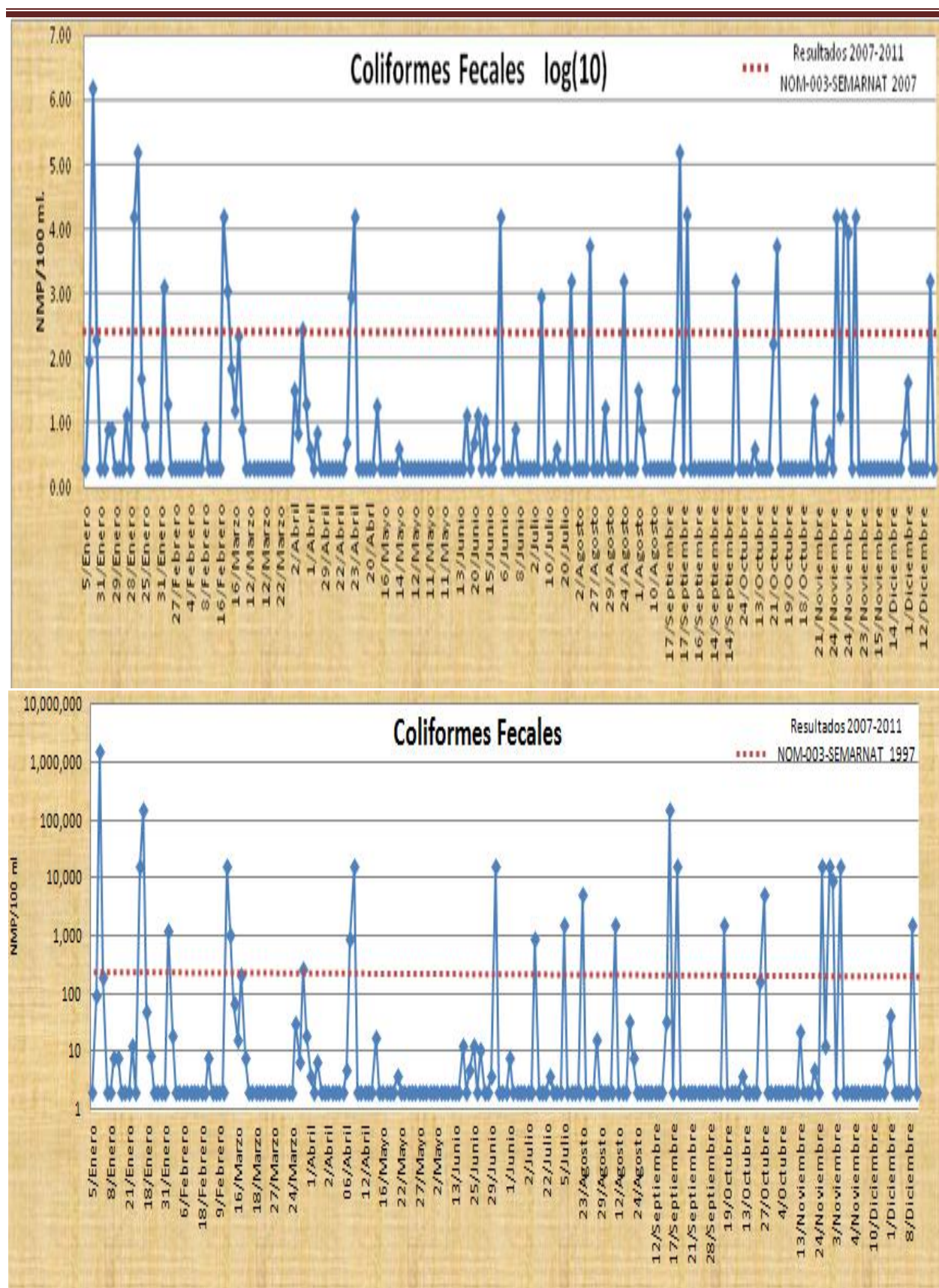


Figura 10: Gráficas de CF logaritmo y CF de la planta El Naranjo para el periodo 2007-2011

A continuación se muestra la grafica de los porcentajes de cumplimiento de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Figura 11).

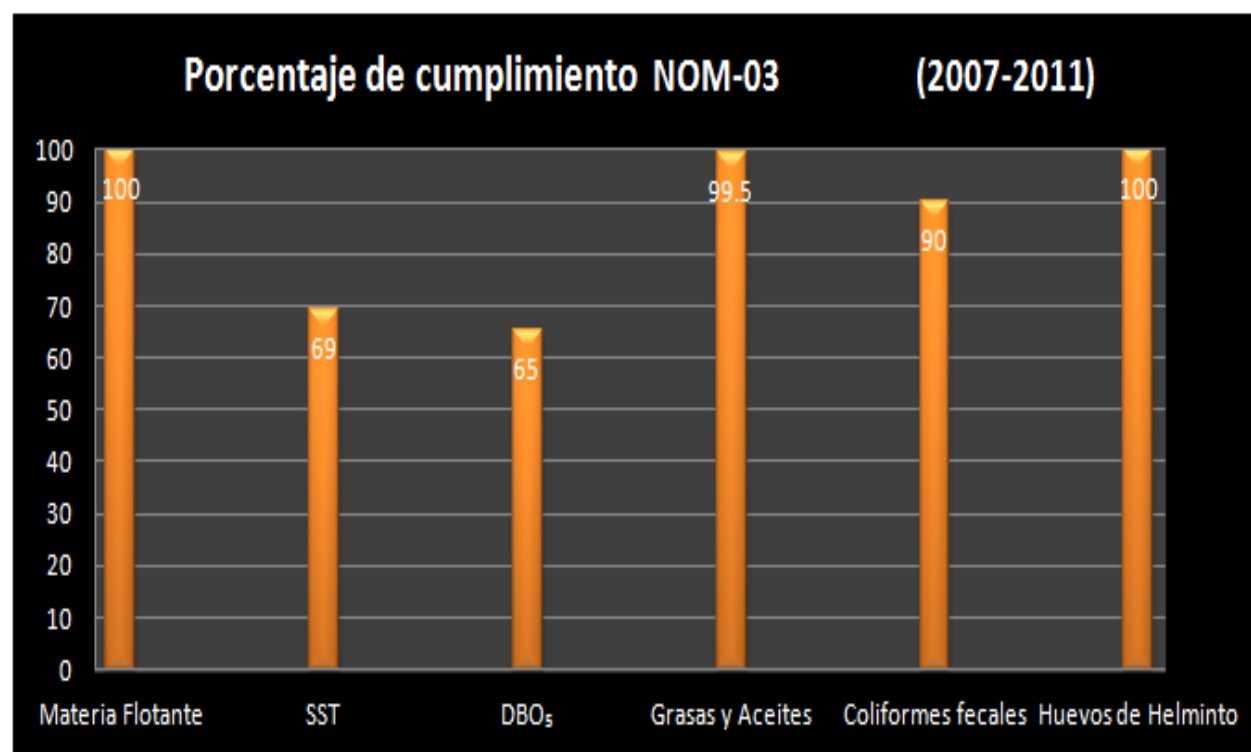


Figura 11: Porcentajes de cumplimiento de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 periodo 2007-2011

De los 227 muestreos efectuados por parte del Laboratorio de Calidad de agua del IIO, para el periodo del 5 de enero del 2007 al 19 de diciembre del 2011, se encontró que el efluente de la planta de tratamiento de El Naranjo, cumple en la totalidad con lo permitido por la “NOM-001-SEMARNAT-1996” (SUELO “Uso en riego agrícola A”). Mientras que para la “NOM-003-SEMARNAT-1997” (Contacto directo), los resultados arrojaron que en Materia flotante el 100% de los muestreos cumplieron con la norma, para SST el 69%, para DBO₅ el 65%, para G-A el 99.5%, para HH fue el 100%, mientras que para para CF el 90% de las ocasiones se cumplió con la norma. Se presenta esta misma gráfica con unidades en logaritmo base diez para facilitar su visualización.

En los parámetros de SST, DBO₅ y CF, se observan picos en las gráficas los cuales indican que algunos resultados del análisis de la calidad del agua se encontraron por encima de lo que permite la normatividad. Según Metcalf y Eddy (1996), el que una planta de tratamiento no mantenga la calidad del agua dentro de los parámetros que establece la normatividad, se puede deber a

problemas provocados por fallas mecánicas, errores de diseño, fallos operativos o problemas provocados por las cambiantes características del agua residual que se producen a pesar de que el diseño, explotación y mantenimiento de la planta de tratamiento sean correctos. Por lo anterior resulta complicado establecer algún tipo de relación tendencial, ya que no se cuentan con los datos necesarios para llevar a cabo este análisis, pero existe una alta probabilidad de que en periodos de lluvia, al aumentar el afluente a la planta de tratamiento, a este no se le pueda dar el tratamiento adecuado debido al exceso en la carga hidráulica de la planta de El Naranjo. Una posible solución para el problema de la carga hidráulica excesiva, es la construcción de tanques de tormenta, los cuales permitirían disponer el excedente de aguas provenientes de las lluvias.

Además sería recomendable implementar un Plan de Seguridad del Agua (PSA), el cual garantice sistemáticamente la seguridad de la calidad del agua y que en todo momento se cumpliera con lo requerido por la normatividad. El PSA consistiría en un planteamiento integral de evaluación de los riesgos, abarcando todas las etapas de los diferentes procesos unitarios, e identificando cada uno de los riesgos existentes, así como las medidas preventivas que controlarán los riesgos identificados.

Para disminuir los SST y por ende algunos otros parámetros, la planta de tratamiento de El Naranjo cuenta con un sistema de filtros de arena y antracita, que permitirían refinar la calidad al disminuir los sólidos suspendidos totales, y los microorganismos asociados, a la vez que disminuiría la obturación de los sistemas de riego (Ramírez y Mendoza, 2005). En la actualidad no es necesario implementar dicho proceso, ya que el efluente cumple con lo necesario para ser vertido al mar, además de que los costos de tratamiento, se incrementarían en alrededor de 80 centavos por metro cúbico (Vargas L.M., comunicación personal, 16 Octubre 2012)

7.2.2 Metales pesados

A pesar de que en Ensenada la actividad industrial es muy reducida, y por ende, la probabilidad de encontrar metales pesados en las aguas tratadas es baja, se realizó un análisis de metales pesados, de acuerdo a los parámetros regulados por la Normatividad Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso en riego agrícola, para el periodo de enero del 2011 a febrero del 2012. A continuación se muestran los resultados (Figura 12 a 16):

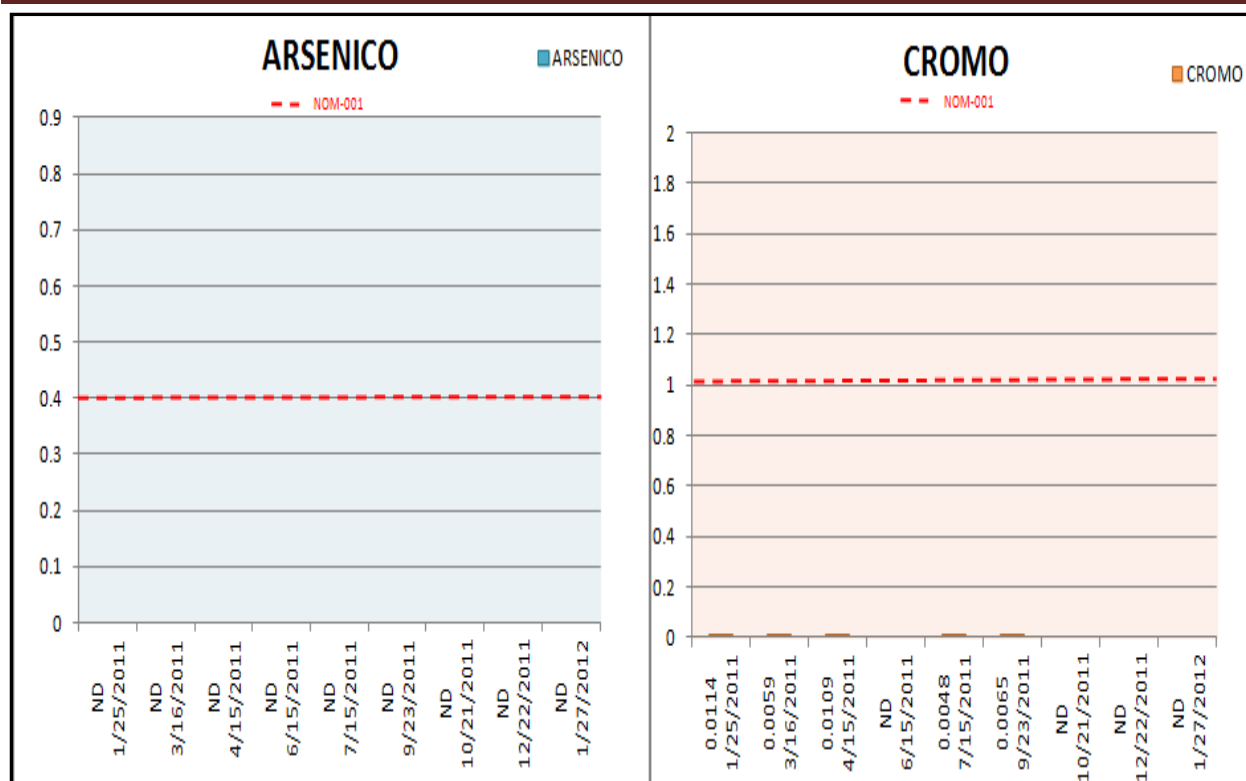


Figura 12: Análisis de los elementos Arsenico y Cromo

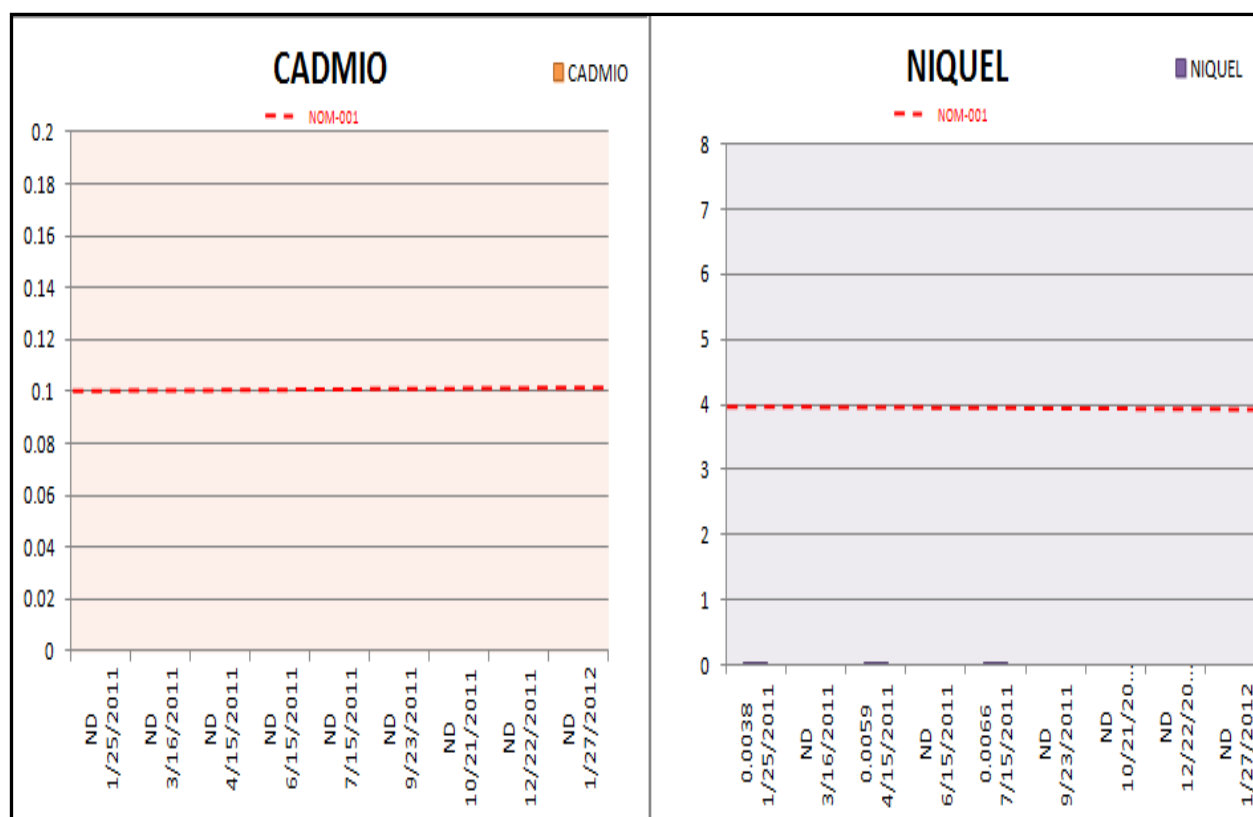


Figura 13: Análisis de los elementos Cadmio y Niquel

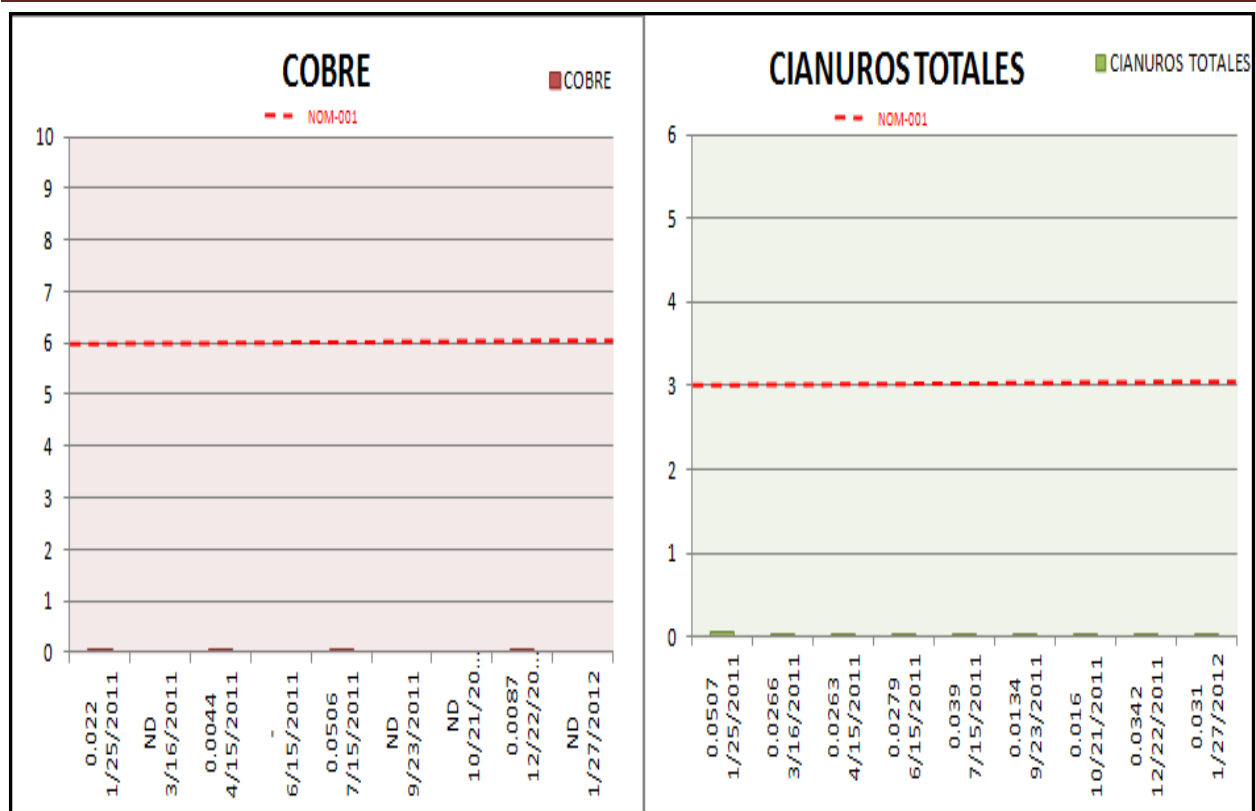


Figura 7: Análisis de los elementos Cobre y Cianuros totales

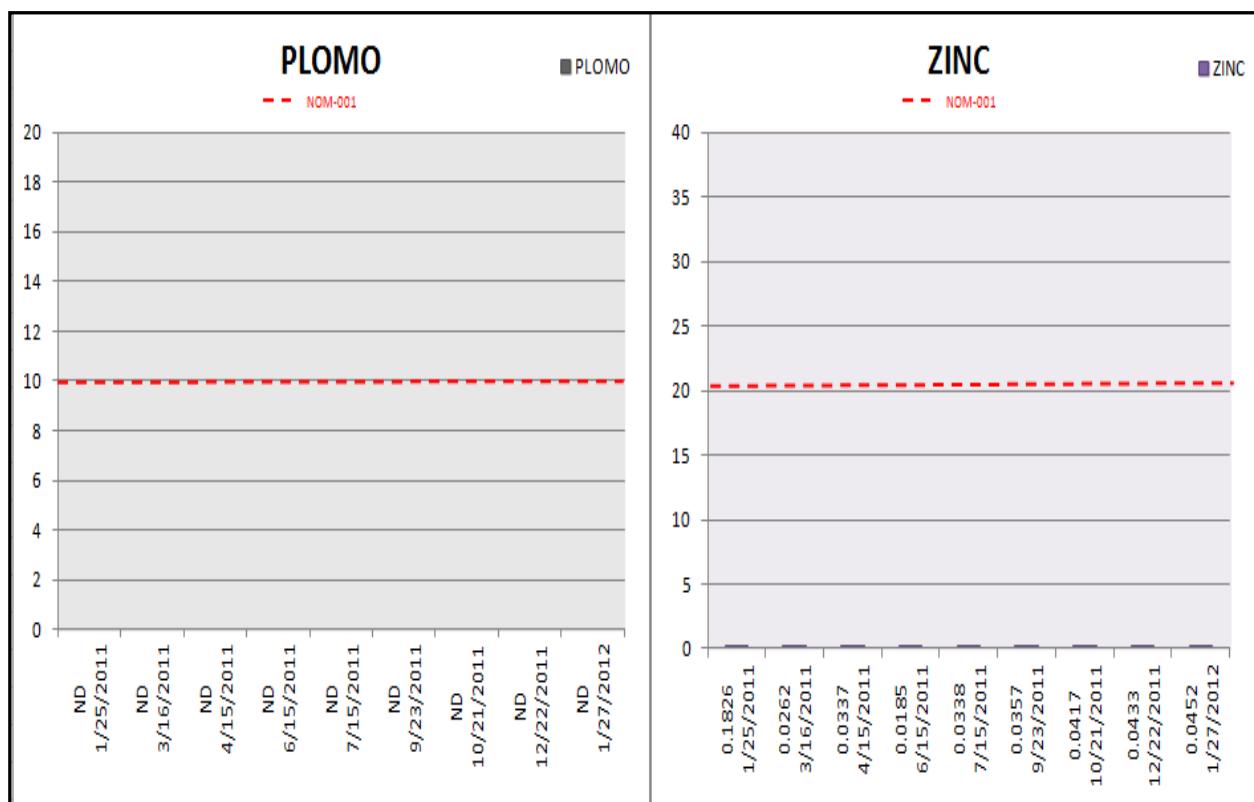


Figura 15: Análisis de los elementos Plomo y Zinc

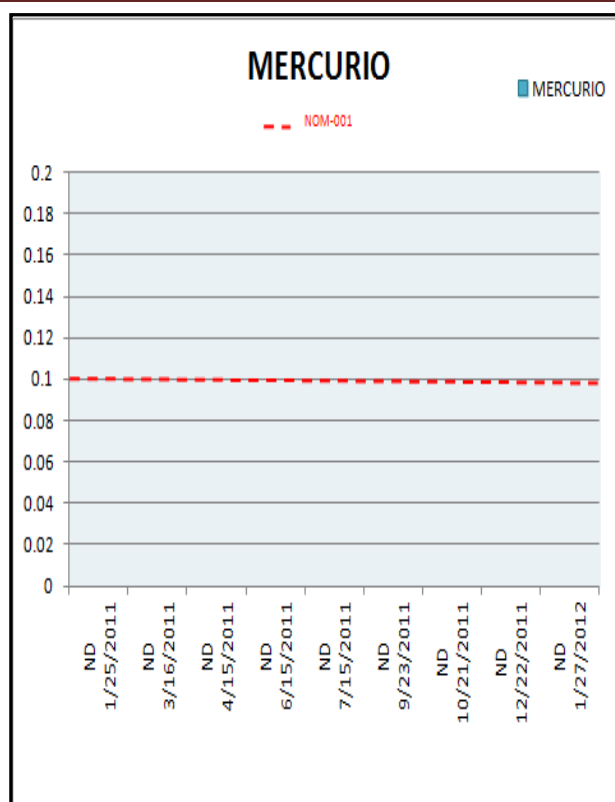


Figura 16: Análisis del elemento Mercurio

De los nueve muestreos efectuados por parte de un laboratorio especializado, entre 2011 y 2012, se encontró que los elementos analizados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros, estaban por debajo de los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996, razón por la que el efluente de la planta de tratamiento de El Naranjo, puede utilizarse en el riego de productos agrícolas sin riesgo alguno para la salud.

7.2.3 Comparación de la normatividad Mexicana con la norma del estado de California

Debido a que el principal mercado de exportación de los productos del valle de Maneadero se encuentra en California, se realizó una comparación entre las Normas Oficiales Mexicanas y la Ley de Salud de California (Tabla VII).

Es importante recalcar que mientras que la Norma Mexicana se enfoca a la medición y cumplimiento de los parámetros como son: DBO₅, SST, SS, CF, G-A, la Ley de Salud de

California únicamente regula el parámetro de coliformes totales, enfocándose hacia las procesos unitarios y las características con que deben de cumplir las plantas de tratamiento (Tabla VII).

Tabla VII: Comparación de la Normatividad Mexicana con la Norma del estado de California.

COMPARACIÓN DE NORMATIVIDAD MEXICANA CON LA LEY DE SALUD DE CALIFORNIA 2009					
PARÁMETRO	NOM-003-SEMARNAT-2007	LEY DE SALUD DE CALIFORNIA 2009			
	Servicios al público con contacto directo	A) Cultivos comestibles, parques, jardines	B) Cultivos Crudos, sin contacto con el agua tratada	C) Irrigación de pastizajes, para animales que producen leche, viveros ornamentales etc.	D) Cultivos no comestibles (pastizales, forrajes, semillas y fibras, cultivos comestibles que serán procesados)
DBO ₅ (mg/L)	20	*	*	*	*
SST (mg/L)	20	*	*	*	*
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	249	*	*	*	*
Huevos de Helminto (h/l)	1	*	*	*	*
Grasas y aceites (mg/L)	15	*	*	*	*
Coliformes totales (NMP/100 ml)	*	2.2 /100 ml y 23/100 ml muestra simple 30 días	2.2 /100 ml y 23/100 ml muestra simple 30 días	23 /100 ml y 240/100 ml en 30 días	*
Temperatura (°C)	*	*	*	*	*
pH	*	*	*	*	*
Turbiedad (NTU) No exceda:	*	A) Promedio de 2 NTU periodo de 24 hr. B) 5 NTU en más del 5 % del tiempo dentro de un periodo de 24 hr. C) 10 NTU cualquier tiempo	*	*	*
Tratamiento requerido	*	desinfección excepto cuando el agua haya sido tratada mediante una coagulación y suelo natural ó por una cama de filtración que no exceda los	Secundario, coagulación filtración y desinfección	Secundario y desinfección	Secundario

Como se mencionó con anterioridad, la calidad del agua de la planta del Naranjo cumple en la mayoría de los casos con la NOM-003-SEMARNAT-1997. En cuanto a la Ley de Salud de California, es necesario analizar el parámetro de coliformes totales, para saber los usos a que se puede destinar el ART; sin embargo por el tipo de tratamiento de la planta del Naranjo, esta agua podría ser utilizada para la irrigación de cementerios, jardines y paisajes de autopistas, campos de

golf, viveros ornamentales y granjas de césped, forraje para animales que producen leche para consumo humano, o cualquier vegetación no comestible donde la porción comestible se produce encima de la tierra, esta agua es conocida como “Agua reciclada secundaria desinfectada 23”, a causa del número de coliformes totales que permite. Otro aspecto importante es la distancia que debe de existir entre el ART y el pozo de suministro de agua potable, el cual debe de ser de 100 pies como mínimo para el agua reciclada secundaria desinfectada 23.

7.2.4 Propuesta de índice de calidad de agua tratada, para el reuso en la agricultura del valle de Maneadero

Los parámetros seleccionados para el índice propuesto son los requeridos por la normatividad Mexicana referente al reuso de aguas tratadas en forma directa “NOM-003-SEMARNAT-1997”. Asimismo se consideró la opinión de expertos en el tema y usuarios del valle de Maneadero, razón por la cual se agregaron los parámetros de Turbidez y Sólidos Disueltos Totales. En la Tabla VIII se muestran los parámetros ya integrados en los indicadores.

Tabla VIII: Selección de parámetros de ICA por indicador

FÍSICOS	QUÍMICOS	BACTERIOLÓGICO
1.-Temperatura	7.-Grasas y Aceites	9.-Coliformes Fecales
2.-pH	8.- DBO ₅	
3.-Sólidos Suspendidos		
4.-Sólidos Sedimentables		
5.-Turbidez		
6.-Sólidos Disueltos Totales		

Para determinar los subíndices para cada parámetro se establecieron los máximos y mínimos permitidos de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997. En el caso del pH y la Turbidez, estos son referidos por la NOM-127-SSA1-1994. Solamente para el caso específico de la Sólidos disueltos totales, se consideró lo establecido en el libro Metcalf y Eddy (2007) (Tabla VXI).

Tabla IX: Límites permitidos por parámetro

PARÁMTERO	LÍMITES PERMITIDOS	NORMA DE REFERENCIA
Temperatura (°C)	20-28	Opinión de experto
Sólidos disueltos totales (ppm)	2000	Metcalf y Eddy 2007
Turbidez (NTU)	5	NOM-127-SSA1-1994
pH	6.5-8.5	NOM-127-SSA1-1994
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	20	NOM-003-SEMARNAT-1997 (Contacto directo)
Sólidos sedimentables (mL/L)	5	Opinión de experto
Grasas y aceites (mg/L)	15	NOM-003-SEMARNAT-1997 (Contacto directo)
DBO ₅ (mg/L)	20	NOM-003-SEMARNAT-1997 (Contacto directo)
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	240	NOM-003-SEMARNAT-1997 (Contacto directo)

Los ponderadores se desarrollan partir de las opiniones encontradas en los cuestionarios aplicados al comité del agua, esto con el fin de así asignar el grado de importancia a cada parámetro (Tabla X).

Tabla X: Ponderadores de parámetros por Indicador

INDICADOR FÍSICO	PONDERADOR
1.-Temperatura	0.1
2.-pH	0.15
3.-Turbidez	0.1
4.-Sólidos Sedimentables	0.15
3.-Sólidos Suspendidos Totales	0.25
6.-Sólidos Disueltos Totales	0.25
INDICADOR QUÍMICO	PONDERADOR
7.-Grasas y Aceites	0.45
8.-Demanda Bioquímica (DBO ₅)	0.55
INDICADOR BACTEROLÓGICO	PONDERADOR
9.-Coliformes Fecales	1

Una vez que el valor de muestreo se ha comparado con la norma, y se le ha asignado un valor parcial a esta comparación, se unificó la información mediante la fórmula matemática:

$$ICA \sum_{i=1}^n X_i = (0.49*IF) + (0.2*IQ) + (0.31*IB)* 100$$

Una vez utilizada la fórmula, se obtuvo el valor final “ICA”, el cual es clasificado, en una de las siguientes cinco categorías dependiendo del valor obtenido, para posteriormente relacionarlo con su correspondiente color (Tabla XI).

$$A = \text{Parámetros fuera de norma} / \text{Total de Parámetros}$$

Tabla XI: Categorías de la calidad del agua según ICA

DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA	SEMÁFORO
Excelente (entre 91-100) El producto esta protegidos con una ausencia casi total de la amenaza Es apto para casi todo tipo de riego (frutales, forrajeria, floricultura)	VERDE
Buena (entre 71-90) Todos los usos protegidos con sólo un menor grado de amenaza. Es apto para casi todo tipo de riego (frutales, forrajeria, floricultura.)	AMARILLO
Media (entre 51-70) Varios usos amenazados o impedidos Con riesgo de no cumplir con la normatividad	NARANJA
Mala (entre 26-50) Potencialmente contaminado Incumplimiento de la normatividad	ROJO
Muy mala (entre 0-25) Mayoría de los usos amenazados o impedidos Requiere acción urgente	

Debido a la alta salinidad que presenta el agua residual tratada de la planta de El Naranjo del orden de 2,700 ppm (Desarrollo y Sistemas S.A., 2002) existen ciertos cultivos que son más tolerantes que otros a la salinidad, por lo cual se recomienda considerar lo presentado en la tabla XII.

Tabla XII: Tolerancia de cultivos a la salinidad (tomado de Mujeriego 1990)

TOLERANTES	MODERADAMENTE TOLERANTES	MODERADAMENTE SENSIBLES	SENSIBLES
Cultivos productores de fibras, semillas y azúcar			
Cebada	Caupi	Haba	Alubias
Algodón	Avena	Ricínio	Guayule
Jojoba	Cártamo	Maíz	Sésamo
Remolacha	Sorgo	Lino	
	Soja	Mijo	
	Trigo	Cacahuete	
		Arroz	
		Caña de azúcar	
		Girasol	
Pastos y Forrajes			
Zigadenus	Cebada desnuda	Alfalfa	
Distichils	Bromo	Heno Gris	
Puccinellia	Hierba	Dicanthium asistatum	
Puccinellia airoides	Trébol	Bromo	
Sporobolus airoides	Cañuela	Cenchrus ciliaris	
Grama	Triguera	Pimpinela	
Diplachne fusca	Mijo	Trébol	
Agropiro	Colza	Maíz	
Elimo	Grama rhodes	Caupí forraje	
	Raygras	Hierba dallis	
	Sorgo	Cola de zorra	
	Agropiro	Grama azul	
	Elimo	Eragrostis	
		Astragalus cicer	
		Avena	
		Dactilo	
		Centeno	
		Piñuelas	
Frutales			
Palmera datilera	Higos	Uva	Almendra, Manzana
	Azufaifo		Aguacate, Zarza,
	Aceitunas		Cereza, Grosella, Melocoton
	Papaya		Lima, Limón, Mandarina
	Piña		Nispero, Naranja, Fresa
	Granada		Perla, Palo, Ciruela
Productos Hortícolas			
Espárragos	Alcachofa	Brécol, Berza verdal	Alubias
	Remolacha	Col, Pepino, Berenjena	Zanahoria
	Calabacín	Coliflor, Apio, Maíz	Abel mosco
		Lechuga, Melón, Pimiento	Cebolla
		Patata, Tomate, Nabo	Chilivia, Guisante
Datos tomados de Mass (1984) citado en mujeriego			
Estos datos solo sirven como directrices sobre la tolerancia relativa entre los diversos cultivos. Las tolerancias absolutas varían con el clima, las condiciones de suelo y las técnicas agronómicas			

Analizando las distintas opciones que plantea el “ICA”, se construyó una tabla con las combinaciones que podrían presentarse. Estas se definen en ocho escenarios de calidad. En este ejercicio, se considera para cada indicador los valores teóricos extremos. Excelente (1) y muy mala (0), que pueden tomar cada uno de los tres indicadores, para posteriormente clasificar el ICA en una escala de calidad de agua. Los resultados de este ejercicio se presentan en la Tabla XIII.

Tabla XIII: Simulación del comportamiento del ICA, en sus distintas combinaciones extremas de los indicadores Físico, Químico y Bacteriológico.

SITUACIÓN DE CALIDAD	FÍSICO	QUÍMICO	BACTEROLÓGICO	ICA	CALIFICACIÓN DE CALIDAD	SEMÁFORO
I	1	1	1	100	Excelente	(90-100)
II	1	0	1	70	Bueno	(71-90)
III	1	1	0	70	Bueno	(71-90)
IV	0	1	1	60	Medio	(51-70)
V	1	0	0	40	Mala	(26-50)
VI	0	1	0	30	Mala	(26-50)
VII	0	0	1	30	Mala	(26-50)
VIII	0	0	0	0	Muy mala	(0-25)

A partir de las combinaciones teóricas de los tres indicadores, se observó que existen ocho posibles escenarios de calidad los cuales van desde el escenario de peor calidad, en donde los tres indicadores tienen como resultado una sumatoria igual a cero, hasta el escenario de calidad excelente, en donde estos mismos indicadores obtienen una sumatoria de uno. Los escenarios II, III y IV son los que obtienen una suma entre 0.3 y 0.4. A partir del escenario V la sumatoria es de 0.6, y para el VI y VII éstos tienen una sumatoria de 0.7, mientras que para el escenario VIII de uno. De tal forma que los primeros cuatro escenarios tienen calidad de agua de muy mala a mala, teniendo restricciones severas en cuanto su uso, y con un alto riesgo de no cumplir con la normatividad, mientras que para los restantes escenarios (IV al VIII) estos tendrán una calidad de media a excelente, lo cual indica que para el escenario IV existe una calidad media por lo cual en algunos usos existe un riesgo de no cumplir con la normatividad. Mientras que para bueno y excelente, la calidad de agua es apta para el riego de árboles frutales, forrajería, floricultura, lo que indica que los cultivos pueden ser regados con seguridad.

7.2.5. Aplicación del ICA

Para el periodo del 18 de octubre al 30 de noviembre del 2011, los resultados de los seis muestreos semanales arrojaron un ICA de color amarillo, es decir que el ART fue de calidad “Buena” por lo cual todos los usos se encuentran protegidos. En la Figura 17 se muestra la ficha descriptiva del ICA (semáforo amarillo).

Buena (entre 71-90)	AMARILLO
Todos los usos protegidos con sólo un menor grado de amenaza.	
Apto para casi todo tipo de riego frutales, forrajera, floricultura considerando la tolerancia a la salinidad	

Figura 17: Descripción del ICA semáforo amarillo.

Posteriormente se aplicó el ICA para el periodo 2007-2011. A continuación se muestran los resultados de la aplicación del ICA al efluente de la planta de tratamiento de El Naranjo (Figura 18).

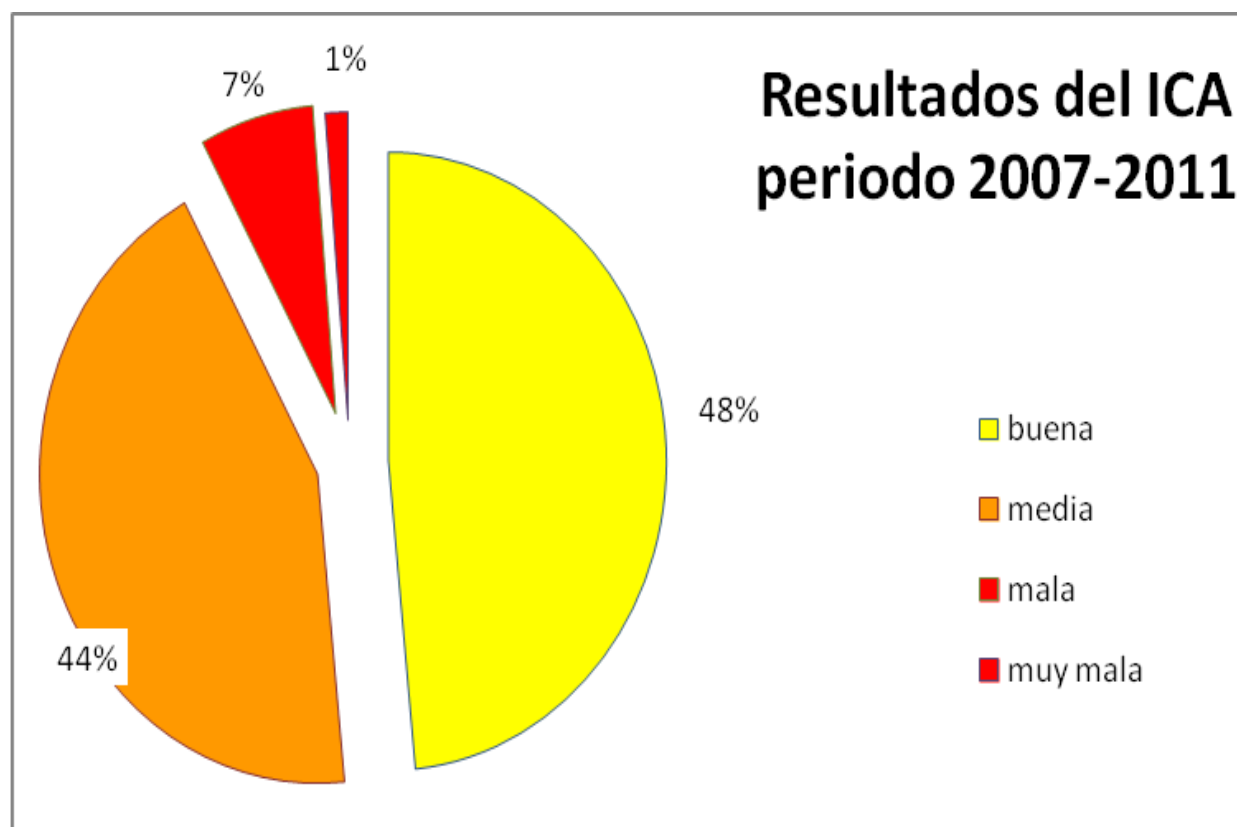


Figura 8: Resultados del ICA periodo 2007-2011

De acuerdo al ICA, el 48% de las muestras de agua presentan una calidad buena, lo cual nos indica que estas aguas pueden utilizarse para el riego de productos agrícolas con excepción de hortalizas destinadas a la exportación. A su vez, el 44% de las ocasiones la calidad es media, lo cual significa que existen varios usos amenazados o impedidos. El 7% de las ocasiones fue de una calidad mala, y únicamente el 1% presentó una calidad muy mala. En estas últimas dos categorías el semáforo correspondiente es de color rojo, debido a que la mayoría de los usos se encuentran impedidos por no cumplir con la calidad requerida. Es importante mencionar que debido a la alta concentración de Sólidos Disueltos Totales de las aguas de la planta de El Naranjo (del orden de 2,700 ppm), difícilmente se tendrá un ICA con calidad excelente, a menos de que esta salinidad disminuyera por debajo de los 2000 ppm.

7.3. RECOMENDACIONES DE MANEJO PARA EL REUSO DEL AGUA TRATADA

De acuerdo al proyecto de aguas residuales del Plan de Manejo Integrado del Agua para el Acuífero de Maneadero, el enviar las aguas residuales tratadas de la planta de El Naranjo a Maneadero, permitiría su transferencia por medio de gravedad, sin necesidad de bombeo, esto gracias al perfil hidráulico que presenta la planta del Naranjo y la topografía del terreno.

Para tal fin, se construyó en el año 2006 un acueducto que conecta la planta de El Naranjo a un tanque de regulación de 2000 m³ ubicado en el valle de Maneadero, este acueducto tiene una longitud de cerca de 13 km aunque debido a las lluvias y a la falta de mantenimiento se encuentra incomunicado en algunas zonas. Por lo que vale la pena realzar que ya se tiene gran parte de la infraestructura necesaria para llevar a cabo el reuso de las ART, y la decisión de que estas aguas se envíen al valle de Maneadero, reside principalmente en los usuarios del valle de Maneadero, en que estén dispuestos a negociar y pagar el precio por m³ de agua.

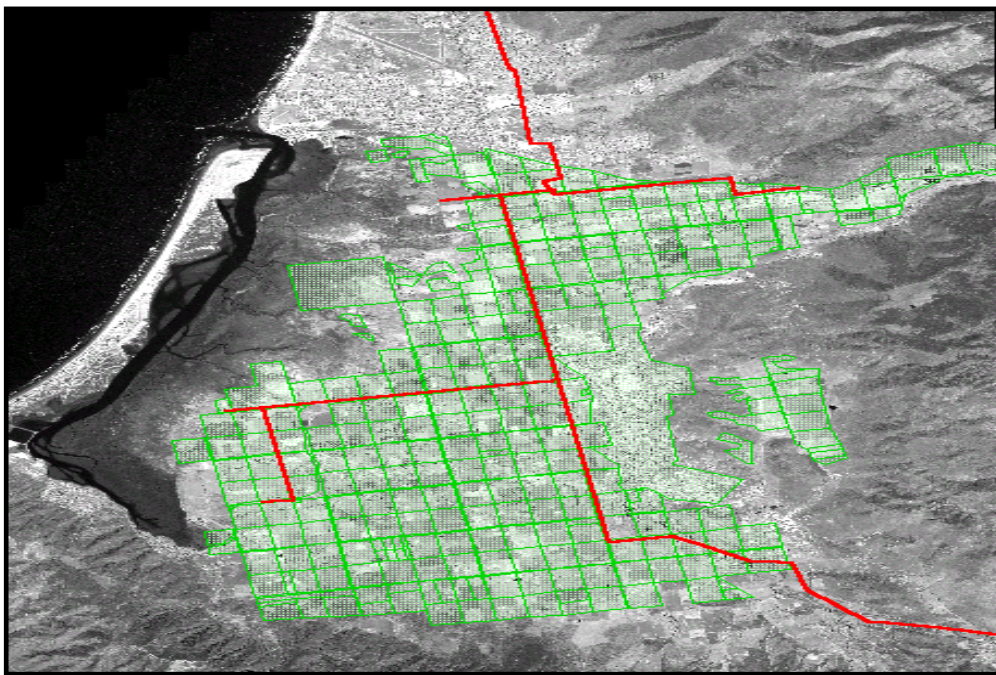


Figura 19: Propuesta de trazo del acueducto de aguas residuales tratadas (tomado de: Desarrollo y Sistemas S.A., 2002)

Es importante considerar que el efluente de la planta de El Naranjo es decir el agua que sale de la planta de tratamiento presenta una salinidad excesiva, del orden de 2,700 ppm lo que sugiere la posible necesidad de desalinizar el volumen de agua tratada, si se contempla para el riego de ciertos cultivos poco tolerantes a la salinidad. Debido a que la salinidad del agua causa una baja en la productividad de la zona agrícola, sería necesario zonificar la distribución de cultivos según la concentración de los sólidos disueltos totales. En la Figura 20 se observa la concentración en el Valle de Maneadero.

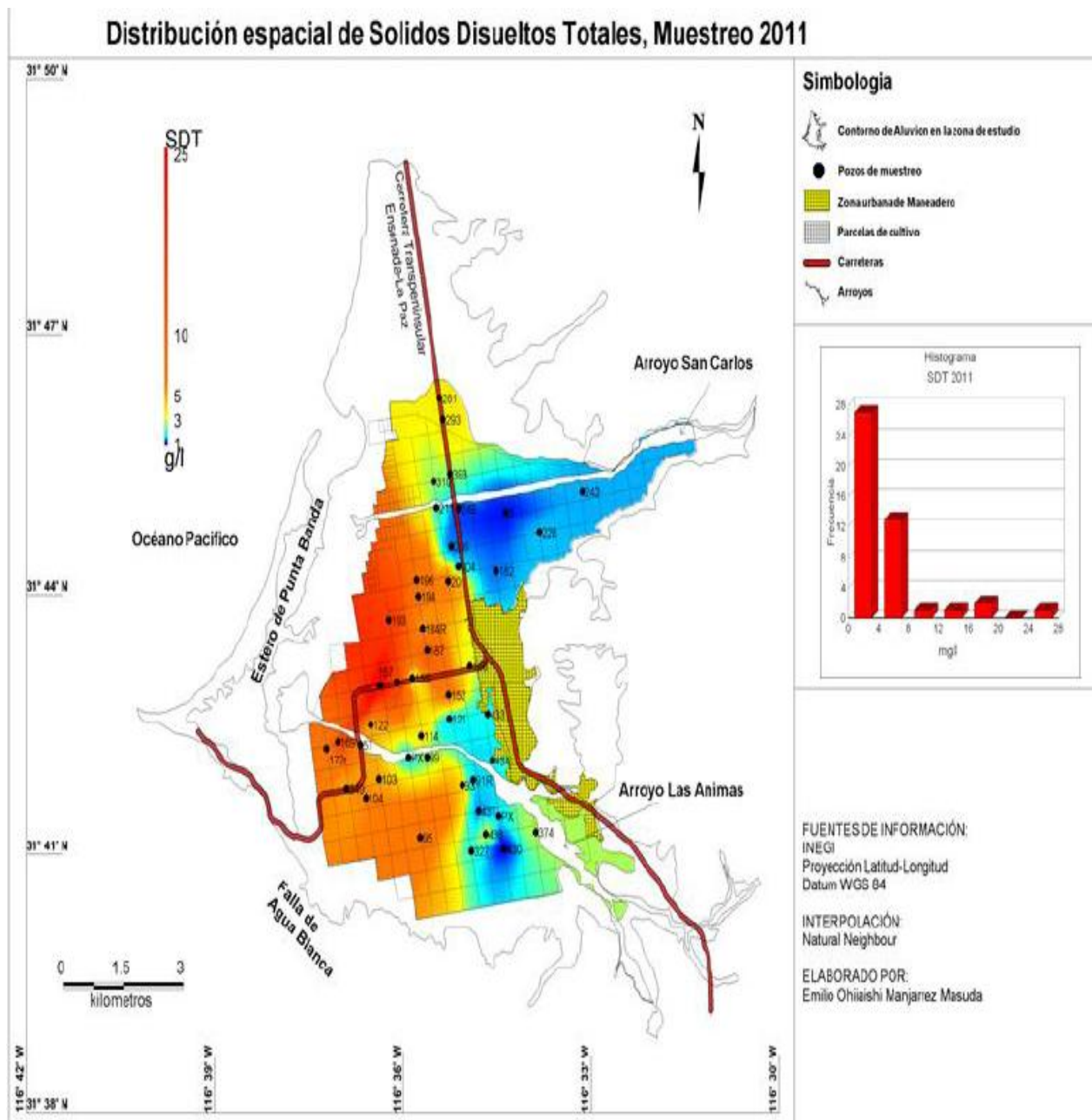


Figura 9: Distribución espacial de STD obtenidos durante el muestreo de pozos marzo y abril del 2011 (de Manjarrez, 2011)

Se propone que en las zonas más cercanas a la costa, que tienen concentraciones de sólidos disueltos totales del orden de los 28,000 ppm, se siembre cultivos que sean más productivos a estas concentraciones, como es el caso de árboles de olivos, cebada, pepinos, etc. Y para las zonas en que la concentración de sólidos disueltos totales disminuye (zonas naranjas y amarillas)

se siembre cultivos moderadamente tolerantes como son la alcachofa, alfalfa, maíz etc. En el anexo 1 se detalla los cultivos y su tolerancia relativa.

Otro aspecto a considerar, es que en gran parte del acuífero el nivel freático es somero, es decir que el nivel de agua, se encuentra a pocos metros del suelo (inferior a los 40 metros), por lo cual es necesario asegurar que el suministro de agua residual tratada no represente un peligro de contaminación del acuífero a causa de su uso mediante riego por gravedad o por fugas en las conducciones para su aplicación (Desarrollo y Sistemas S.A., 2002). Por ello y para evitar la mezcla de aguas residuales tratadas, con la reserva de agua potable, el aprovechamiento de agua residual tratada en zonas próximas a los aprovechamientos de agua potable se recomienda que debe limitarse a usuarios que cuenten con sistemas de riego de alta eficiencia, como es el sistema de riego por goteo y microaspersión, de éste modo se reducirá el riesgo de contaminación del acuífero por filtración de sólidos disueltos totales u otros contaminantes.

Asimismo, sería conveniente la tecnificación de los sistemas de riego. Si bien un alto porcentaje de usuarios del valle ya riega mediante goteo, cerca del 85% cuenta con sistema de riego por goteo (A. A. Guzman comunicación personal, 05 Octubre 2012), no todos los productores lo hacen. Además dichos sistemas presentan ventajas ya que permiten un mejor aprovechamiento del agua y la utilización de riegos de poco volumen tiene la ventaja de que permite controlar la infiltración del agua, evitando la posible contaminación del suelo y del agua subterránea (Desarrollo y Sistemas S.A., 2002).

7.4. CAMPO DE FUERZA DE FISHER

Para ver la viabilidad del reuso de las ART en la agricultura, así como las fuerzas positivas y negativas de la alternativa planteada, se decidió hacer un análisis de campo de fuerza. A continuación se muestra el diagrama (Figura 21).



Figura 21: Campo de Fuerzas Fischer para el reuso de aguas residuales tratadas en el valle de Maneadero

Ante el continuo deterioro de la calidad del agua en el acuífero de Maneadero, los usuarios se han visto obligados o considerar alternativas para enfrentar este serio problema. Una de las alternativas es el reuso de las aguas tratadas. Frente a esta alternativa existen opiniones encontradas, tanto a favor como en contra. Uno de los factores que obstaculiza esta posibilidad, es la negativa a pagar las aguas tratadas por parte de los usuarios, debido a un convenio firmado en 1974 entre el gobierno federal, estatal y los usuarios de los ejidos Chapultepec y Maneadero, en donde se negoció que se regresarían las aguas tratadas a cambio de el agua que se extrae del acuífero. Además existe desconfianza por parte de los ejidatarios en cuanto a la calidad del ART, y que éstas no cuente con lo requerido para el riego de sus productos agrícolas, refiriéndose específicamente a las hortalizas que son exportadas a EUA.

Con el fortalecimiento de COTAS, así como el apoyo de la UABC y el INIFAP, se han realizado diversas propuestas de estudios para analizar las alternativas para hacer frente a la grave

problemática de escasez. Uno de las cuestiones que detienen dichos estudios es la falta de recursos económicos para realizarlos (reinyección de ART, campo experimental de flores). Adicionalmente, se observa que por parte del gobierno estatal y federal se ha dado prioridad a proyectos, como es el caso de una desaladora que se pretende construir en la zona de la lagunita, aun cuando en estudios científicos se menciona que esta no representa la mejor opción técnica ni económica (Waller *et al*, 2009).

8. DISCUSIÓN

El ICA propuesto en el presente estudio es el primero en su tipo que se propone para aguas residuales tratadas en México. Se muestra como una opción práctica y sencilla para la interpretación de variables físicas, químicas y bacteriológicas de la calidad del ART de la planta de tratamiento de El Naranjo, buscando informar la calidad de las ART, al público en general. Ya que a menudo la información que es generada en laboratorios es valiosa para expertos y administradores, pero frecuentemente es inaccesible al público en general, por lo que este índice se convierte en una herramienta que simplifica un conjunto de datos técnicos, en una forma gráfica y fácil de interpretar, que mantiene al mismo tiempo la dureza de los datos cuantitativos.

Una parte interesante del ICA es la construcción de los ponderadores, en donde se incorpora la opinión de expertos y usuarios del valle de Maneadero, para asignar el grado de importancia de cada parámetro. Cabe resaltar que este índice propuesto encuentra limitado en su diseño, por el número de parámetros que se muestrean actualmente que son los requeridos por la normatividad mexicana. Dado lo anterior, se pretende que en un futuro se incorpore otros parámetros como es el caso de las coliformes totales, y de esta forma tener un índice más integral, acorde a parámetros internacionales, (Ley de Salud de California 2009) dado que gran parte de los cultivos son exportados al mercado de los Estados Unidos de America.

Durante el desarrollo del ICA para el periodo 2007-2011 se utilizaron promedios para los parámetros de Turbidez y Sólidos Disueltos Totales, con la idea de probar el modelo y ver la aplicación del mismo. De esta manera se obtuvo que el 48% de las ocasiones se presentó una calidad buena, por lo que de acuerdo al ICA esta agua puede ser utilizada para el riego en cultivos agrícolas con excepción de hortalizas destinadas a la exportación.

A pesar de los esfuerzos realizados por las principales agencias de medio ambiente en todo el mundo (EPA "EUA", Environment Canada "CANADA", SEMARNAT "MÉXICO" etc.) no existe un único indicador universal. Por lo que la evaluación de las variables sigue siendo una tarea muy importante en la estimación de la calidad del agua. Muchos de los ICA desarrollados a nivel mundial, obedecen a reglamentaciones o normativas de sus respectivos países, lo cual trae

como consecuencia una diversidad en los parámetros que se utilizan. Por ende resulta fundamental conocer qué información es la que se quiere transmitir, antes de desarrollar un sistema de indicadores, ya que en muchas ocasiones estos son elaborados para problemas específicos de una región y por lo tanto no pueden generalizarse a otras zonas de estudio debido a el tipo de parámetro o ponderador que se seleccionó.

La factibilidad del reuso de las aguas tratadas está comprobada, con experiencias locales, nacionales e internacionales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el uso de ART en la agricultura se practica en cerca de medio centenar de países y ocupa una superficie que asciende al 10% del total de tierras cultivadas a nivel mundial (FAO, 2010).

En el valle de Maneadero el uso de agua residual tratada en floricultura, árboles frutales y forraje ahorraría el 14% de las extracciones (Licona, 2011). Además, de acuerdo al documento “Proyectos del estado de Baja California ciudad Ensenada”, se estima que con el reuso sería posible reincorporar cerca de 1,000 hectáreas a la actividad productiva del valle de Maneadero, con cultivos rentables, aparte de otros beneficios como la extensión el potencial agrícola del valle; la disminución en la extracción de agua subterránea de mala calidad y del abatimiento del proceso de intrusión salina; aparte de favorecer la recuperación del acuífero y la disminución de los costos de producción de cultivos que exigen agua de alta calidad. Sin embargo, hay que mencionar que también existen riesgos ambientales al no existir un adecuado sistema de control de calidad del agua, como pudiera ser la contaminación de los cultivos regados con las ART, o la contaminación del acuífero y suelo del valle de Maneadero, aunado a los problemas de salud a la población que tiene contacto con las ART. Por lo que si se llegara a implementar el reuso sería recomendable implementar un Plan de Seguridad del Agua (PSA), que permita garantizar sistemáticamente la calidad. Este PSA consistiría en un planteamiento integral de evaluación de los riesgos, abarcando todas las etapas de los diferentes procesos unitarios, e identificando cada uno de los riesgos existentes, así como las medidas preventivas que controlen los riesgos identificados. Y por último, implementando planes de gestión que describan las medidas que deben adoptarse cuando se produzcan incidentes, enfocándose a que se cumpla en todo momento

con la normatividad requerida para riego de productos agrícolas y de esta forma asegurar la calidad del ART.

En proyectos donde se involucra el reuso de ART, existe un fuerte componente social, debido a las implicaciones (temores, riesgos, falta de información) que se generan entre los potenciales usuarios y la sociedad en general. En el valle de Maneadero, la percepción que se tiene respecto a la calidad del ART difiere de la realidad, por lo que resulta fundamental el proporcionar información técnica a los usuarios a fin de hacer notar los beneficios que representa el reuso de ART. Además, en diversas visitas que se realizaron al interior del ejido, se observó poca participación en asuntos públicos relacionados a la gestión del valle de Maneadero.

Una herramienta para lograr un cambio en la percepción, es la educación ambiental, partiendo de un enfoque participativo e interdisciplinario en donde se sensibilice, no sólo a los usuarios del valle de Maneadero, sino también autoridades e investigadores; ya que la educación ambiental, es la compañera indispensable de otras estrategias políticas, económicas, tecnológicas, normativas y de participación social, con el objeto de potenciar acciones y resultados en la atención de la problemática ambiental y en la transición hacia la sustentabilidad (Comisión Ambiental Metropolitana, 2000).

Aun cuando la calidad del agua de la planta del Naranjo cumple con los valores establecidos por la normatividad Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la mayoría de los casos con la NOM-003-SEMARNAT-1997, el riego de productos agrícolas con ART, no se ha podido llevar a cabo. Prolongando la situación actual, donde la sobreexplotación del acuífero y por consiguiente intrusión salina, aun cuando de reuso de ART representa la mejor opción a corto plazo para los usuarios del valle de Maneadero. Por lo que es necesario la participación conjunta de gobiernos y sociedad, en sus diferentes niveles, municipal, estatal y federal, ya que sin el establecimiento de políticas integrales que incentiven un mejor aprovechamiento del agua, y se promueva por parte de las autoridades locales un diálogo en donde se establezcan los acuerdos necesarios para llevar a cabo el reuso de las ART, como es el asegurar que en todo momento dichas aguas cumplirán con los estándares necesarios para el riego de los cultivos, y que los ejidatarios las usaran estarán

dispuestos a negociar un precio por ellas. Además es necesario involucrar a los usuarios interesados en las ART, como es el caso del Sistema Producto Flor.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a la normatividad Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la mayoría de los casos con la NOM-003-SEMARNAT-1997, el efluente de la planta del Naranjo cumple con lo necesario para llevar a cabo el riego de productos agrícolas, aunque es importante considerar los riesgos que existen debido a la alta concentración de sólidos disueltos totales que presentan dichas aguas, todavez que dichas normas no consideran el parámetro de sólidos disueltos.
- El ICA se presenta como una herramienta que evalúa la calidad del agua residual tratada de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente y de esta forma mejorar el proceso de comunicación entre gobierno y sociedad
- Es necesario que exista un consenso y aceptación por parte de los usuarios del valle de Manadero, a utilizar las ART para que de este modo sea posible negociar el proyecto con los diferentes niveles de gobierno. También es necesario que CESPE asegure que las ART cumplirán en todos momento con las normas que requieren los productores para exportar.
- La factibilidad del reuso de las aguas tratadas está comprobada con experiencias locales, nacionales e internacionales, por lo que la resistencia al cambio por parte de algunos ejidatarios, a buscar nuevas fuentes de abasto de agua, y a buscar diferentes productos agrícolas, se debe de contrarrestar con un programa de educación ambiental, así como de argumentos económicos ya que bajo las prácticas actuales, esta actividad es insostenible.
- Para tener un índice más integral, se recomienda adicionar nuevas variables de muestreo, como son las coliformes totales, debido a que una gran parte de la exportación del valle

de Maneadero van hacia California, y su norma así lo requiere, asimismo se recomienda continuar mostrando los parámetros de turbidez y coliformes fecales.

- En el caso de implementar el reuso de las ART para el riego en el valle de Maneadero, será muy importante implementar un Plan de Seguridad del Agua (PSA), el cual permita garantizar sistemáticamente la calidad del agua

11. GLOSARIO DE TERMINOS

AGUAS TRATADAS. Se les denomina aguas tratadas aquellas que pasaron por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano.

ACUÍFERO. Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. (DQO) Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l).

DESARROLLO SUSTENTABLE. Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades

ESTIAJE. Es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía.

INDICADOR. Son estadísticas, serie estadística o cualquier forma de indicación que nos facilita estudiar dónde estamos y hacia dónde nos dirigimos con respecto a determinados objetivos y metas, así como evaluar programas específicos y determinar su impacto.

ÍNDICE. Conjunto de indicadores relacionados

INTERDISCIPLINA: Es la intervención de las acciones que se realizan en conjunto con diferentes disciplinas sobre un mismo tema o actividad y con relaciones definidas. En ese sentido, el enfoque interdisciplinario va más allá de la frontera de la ciencia misma hasta introducirse en la otra disciplina y viceversa,

NIVEL ESTÁTICO. El nivel del agua en el pozo sin bombeo reciente. El nivel estático del acuífero se refiere al nivel medio del mar utilizando para ello la cota de la superficie del terreno a la cual se le resta la profundidad del nivel estático, medida en el campo.

RESILIENCIA. Indica la capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, es decir, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado.

SERVICIOS AMBIENTALES. Se dice que son beneficios intangibles (aquellos que sabemos existen, pero cuya cuantificación y valoración resultan complicadas) ya que, a diferencia de los bienes o productos ambientales, como es el caso de la madera, los frutos y las plantas medicinales de los cuales nos beneficiamos directamente, los servicios ambientales no se “utilizan” o “aprovechan” de manera directa, sin embargo nos otorgan beneficios, como tener un buen clima, aire limpio, o simplemente un paisaje bello (Conafor, 2010).

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD). Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la Conductividad Eléctrica mediante la fórmula $TDS = C.E. \text{ (mmhos/cm)} \times 700$; Partes Por Millón (ppm) Se mide en ppm. El Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud de los EE.UU establece que para agua potable la Conductividad deberá estar comprendida entre 50 y 1000 micromhos/cm.

SOSTENIBILIDAD. El concepto de desarrollo sostenible, perdurable o sustentable se refiere a la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes asegurando la conservación de los recursos para las poblaciones futuras para atender sus propias necesidades. Este concepto se puede desglosar, conceptualmente, en tres partes: social, económica y ambiental; sin embargo, para que el desarrollo sustentable sea tal, sus tres componentes deben cumplirse, es decir, el bienestar social, el beneficio económico y la conservación del ambiente natural.

12. BIBLIOGRAFÍA

Arizpe, L., Paz, F. y Velásquez, M. (1993). Cultura y cambio global: percepciones sociales sobre la deforestación en la selva Lacandona, Miguel Ángel Porrúa/CRIM-UNAM, Cuernavaca.

Ball, R., y Church, R. (1980). Water quality indexing and scoring. Journal of the environmental Engineering división, American Society of civil Engineers.

Barkin, D., (2006). La gestión del agua urbana en México, retos, debates y bienestar. Universidad de Guadalajara. México.

Beamonte, E., Casino, A. y Veres, E. (2004). Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. Estadística Española, VOL 46: 359.

Bernard-Russel, H. (1988). Unstructured and semistructured interviewing. *Research methods in cultural Anthropology*, Beverly Hills.

CETESB. (2006). Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Anexo V, São Paulo.

CESPE. (2006). *Comisión estatal de servicios públicos de Ensenada/Antecedentes*. Recuperado el 2012, de <https://www.cespe.gob.mx/?id=antecedentes>.

CESPE. *Comisión estatal de servicios públicos de Ensenada*. (2010). Recuperado el 17 de 09 de 2012, de http://www.cespe.gob.mx/otros_docs%5C4to_Ciclo_Conferencias%5Cconferencia_1.pdf

CESPE. (2012). *Infraestructura planta el naranjo*. Recuperado el 23 de 09 de 2012, de <http://www.cespe.gob.mx/?id=infraestructura>

CONAGUA. (2002). Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero maneadero*. Comisión Nacional del Agua, México

CONAGUA. (2004). *Usos del agua e infraestructura en estadísticas del agua en México*. Recuperado el 12 de 02 de 2011, de www.cna.gob.mx/publicaciones/estadisticas/PDF/cap4usodelagua.pdf

CONAGUA. (2010). *Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales*. Ciudad de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Daesslé-Heuser, L. W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar V. F., Mendoza-Espinosa L. G., Carriquiry, J. D., Macias, V. A., Castro P. G. (2004). Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California, *Hydrogeology Journal*, Mexico.

Daessle-H, L. W. (2009). *Evolución y respuesta hidrogeológica del acuífero de Maneadero B.C., ante la perspectiva de su sobreexplotación y recarga artificial*. 14a Convocatoria interna de apoyo a proyectos de investigación, UABC, Ensenada.

Del Río, I. (1986). Revisión crítica de los índices físico-químicos de calidad del Agua. *Centro de Estudios Hidrográficos del Cedex, revista Ingeniería Civil*.

Desarrollo y Sistemas S.A. (1999). *Modelación Hidrodinámica del acuífero de Maneadero*. Técnico, Gerencia de aguas subterráneas, CONAGUA.

Desarrollo y Sistemas S.A. (2002). *Apéndice 1. Descripción detallada de las acciones para el Manejo de la Demanda y Disponibilidad del Acuífero de Maneadero; Plan de manejo de aguas residuales del valle de Maneadero*. Informe técnico, CONAGUA, Ensenada.

Desarrollo y Sistemas S.A. (2002). *Plan de manejo integrado del agua para el acuífero de Maneadero, B. C.* CONAGUA, Ensenada.

Dunnette, D. A. (1979). Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon. *Journal of the Water Pollution Control Federation Vol. 51, No. 1*.

Fernández, N., Ramírez, A., y Solano, F., (2008). Índices de Calidad y Contaminación del Agua. *Universidad de Pamplona*.

Fischer, W. D. (1999). Técnicas para la formulación de políticas en zonas costeras. UABC, México.

Fortino-Peón, V. (2001). Un acto metodológico básico de la investigación social: la entrevista cualitativa. México.

Franca, D. M. (2010). *Factors influencing public perception of drinking water quality*. IWA Division of Water Sciences, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO.

Gobierno municipal de Ensenada. (2008). *Plan Municipal de Desarrollo 2008-2010*. Recuperado el 12 de 05 de 2012, de http://imipens.org/IMIP_files/pmd2008-2010.pdf.

House, M. A. (1989). A water quality index for river management. *Journal of the Institute of Water and Environmental Management*.

IMIP. (2008). Localización de la Industria en Ensenada, Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada y Fortalecimiento. Baja California, Ensenada.

Jiménez, B. (2005). Treatment technology and standars for agricultural wastewater reuse: A case study in México. *Interscience*.

Kahn, R. L., Charles, F. C. (1977). *Entrevista Investigación social*. Madrid: ED. Aguilar en David Sills (comp.) Enciclopedia Internacional de las ciencias sociales.

Lazarova, V. y Bahri, V. (2005). *Water reuse for irrigation, agriculture, landscape and turf grass*. USA, CRC Press.

Licona-García, A. (2011). *Sistema de información integral del acuífero de Maneadero B.C. México con fines de manejo*. Tesis, Maestría en Manejo de Ecosistemas en Zonas Áridas. Ensenada, UABC.

León, F. L. (1991). Índice de calidad de agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del agua*.

Mendoza-Espinosa, L. G. *Proyectos del estado de Baja California. Uso Sustentable del Acuífero de Maneadero*. Universidad Autónoma de Baja California. Comisión Nacional del Agua. Ensenada.

Metcalf y Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw Hill, Volumen dos EUA.

Metcalf y Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Companies 4ta edición, McGraw-Hill, EUA.

Ministers Canadian Council of Environment. (1995). The British Columbia Water Quality Index Recuperado el 12 de 09 de 2012, de <http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/indexreport.html#calc>

Montoya, M., Contreras, C. y García, V. (1997). Estudio integral de la calidad del agua del estado de Jalisco. *Com. Nal. Agua*.

Mujeriego, Rafael. (1990). *Riego con agua residual municipal regenerada*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 26 de 09 de 2012, de <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e00.htm>

Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M. N., Rodríguez, F., y Alfayate, J. (2005). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Thomson Editorial. Tercera edición.

PROESTEROS. (2012). *Proyecto para la región de Punta Banda-Estero de Punta Banda*. Informe técnico final, SEDUE, Ensenada.

PNUMA. (1992). *Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y desarrollo*. Recuperado el 12 de 04 de 2011, de http://ofdp_rd.tripod.com/ambiente/index.html

Ramírez-Acosta, R. J. y Mendoza-Espiosa, L. G. (2005). *Economía del agua en Baja California: Reuso de aguas residuales tratadas bajo mecanismos de mercado*. Departamento de editorial universitaria, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.

Revenga, C. J., Brunner, N., Henninger, K. K. y Payne R. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. World Resources Institute, Washington, D.C. USA.

Rut Dena. El Vigia. (2011). *Florece con aguas tratadas*. Recuperado el 15 de 03 de 2012, de <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article68600>

Sacha, A. y Espinoza, C. (2001). Determinación de Contenido Natural e Índices de Calidad ¿Presente y Futuro de calidad del agua. *Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile*.

SEFOA. (2009). *Inventario de Invernadero y malla sombra en Baja California*. Secretaría de fomento Agropecuario.

SEMARNAT. (2002). *Informe de la situación del medio ambiente*. Recuperado el 15 de 08 de 2011, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.6_Calidad/index.shtml

SEMARNAT. (2008). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Recuperado el 15 de 02 de 2012, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/index_informe_2008.html

Sistema Nacional de Planeación Democrática. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. Recuperado el 12 de 05 de 2012, de <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/introduccion.html>

SMART. (2012). *Suelos sódicos y su manejo*. Recuperado el 19 de 09 de 2012, de <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/suelos-sodicos>

Stuart, G.P., Takashi, A. (1990). *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater*. California State Water Resources Control Board. UC of Davis, California EEUU.

Sorensen, J. C., McCreary, S. S. y Brandani, A. (1992). *Arreglos institucionales para manejar ambientes y recursos costeros*. Centro de recursos costeros. Universidad de Rhode Island. E.U.A.

Tapia, O. J., Román, J.C., Figueroa, V., Escoboza, G., Soto, O., Sosa, G. (2011). Evaluación de los efectos del trigo con agua efluente de la planta de tratamiento “las arenitas” en suelo y cultivo del trigo en el valle de Mexicali, B.C. México. UABC.

Tejeda, G.C., Orta, L.T. y Sotomayor, M.J. (1985). Evaluación del control de la contaminación por el uso agrícola. Publicación de la CPNH, México.

Torres-Camilo, P., Hernán-Cruz, C., Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín vol 8*.

United Nations Children's Fund. (2008). *Handbook on Water Quality*. New York, UNICEF.

Verlicchi, P., Masotti, L., Galletti, A. (2010). Wastewater Polishing Index. *Springer Science+Business Media. Department of Engineering University of Ferrara.*

Waller-Barrera, C., Mendoza-Espinosa, L., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R. (2009). Optimización económico-ingenieril del suministro agrícola y urbano: una aplicación de reuso del agua en Ensenada, Baja California, México. *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXIV, núm. 4, 87-103.

Wrinkler, M.A. (1986). *Tratamiento Biológico de aguas de desecho.*, Editorial Limusa, México, D.F.

13. ANEXOS

Anexo 1: Tolerancia relativa

Tabla No. 3.14 Tolerancia relativa de los cultivos a las sales

Muy tolerantes	Cee	Medianamente tolerantes	Cee	Poco tolerantes	Cee
Agropiro <i>Agropyron elongatum</i>	19.4	Cártamo <i>Carthamus tinctorius</i>	9.9	Cacahuete <i>Arachis hypogaea</i>	4.9
Cebada <i>Hordeum vulgare</i>	18.0	Remolacha 3 <i>Beta bulgaris</i>	9.6	Pomelo	4.9
Palma datilera <i>Phoenix dactylifera</i>	17.9	Melón <i>Cucumis melo</i>	9.1	Trébol <i>Latus uliginosus</i>	4.9
Algodón <i>Goosypium hirsutum</i>	17.0	Alfalfa <i>Medicago sativa</i>	8.8	Naranja <i>Citrus sinensis</i>	4.8
Agropiro <i>Agropyron desertorum</i>	16.0	Espinaca <i>Spinaca oleracea</i>	8.6	Limonero <i>Citrus limon</i>	4.8
Agropiro <i>Agropyron cristatum</i>	15.0	Maíz forrajero <i>Zea mays</i>	8.6	Manzano <i>Malus sylvestris</i>	4.8
Remolacha azucarera <i>Beta vulgaris</i>	15.0	Higuera <i>Ficus ranica</i>	8.4	Peral <i>Pyrus conmmunis</i>	4.8
Pasto bermuda <i>Cynodon dactylon</i>	14.7	Olivo <i>Olea europaea</i>	8.4	Nogal <i>Juglans regia</i>	4.8
Sorgo del Sudán <i>Sorgum sudanense</i>	14.4	Granada <i>Puncia granatum</i>	8.4	Zanahoria <i>Daucus carota</i>	4.6
Festuca alta <i>Festuca elatior</i>	13.3	Brócoli <i>Brassica oleracea botrytis</i>	8.2	Cebolla <i>Allcum cepa</i>	4.3
Cebada forrajera <i>Hordeum</i>	13.0	Tomate <i>Lycopersicum esculentum</i>	7.6	Ciruelo <i>Prunes domestica</i>	4.3
Trigo 2,4 <i>Triticum aestivum</i>	13.0	Veza común <i>Vicia sativa</i>	7.6	Almendro <i>Prunus dulcus</i>	4.1
Ballico perenne <i>Lilium perenne</i>	12.2	Soya <i>Glucine max</i>	7.5	Melocotonero <i>Prunus persrea</i>	4.1
Falaris bulbosa <i>Phalaris tuberosa</i>	11.1	Arroz <i>Oryza sativa</i>	7.2	Zarzamora <i>Rubus spp</i>	3.8
Sorgo <i>Shorgum bicolor</i>	11.0	Col <i>Brassica oleracea</i>	7.0	Aguacate <i>Persea americana</i>	3.7
Trébol pata de pájaro <i>Holim comiculatum tenuifolium</i>	10.0	Haba <i>Vicia faba</i>	6.8	Albaricoquero <i>Pyrus armeniaca</i>	3.7
		Vid <i>Vitis spp</i>	6.3	Frijol <i>Phaseolus vulgaris</i>	3.6
		Pepino <i>Cucumis sativus</i>	6.3	Frambuesa <i>Rubus idoeus</i>	3.2
		Camote <i>Ipomaoea batatas</i>	6.0	Fresa <i>Fragaria spp</i>	2.5
		Maíz <i>Zea mays</i>	5.9		
		Papa <i>Solanum tuberosum</i>	5.9		
		Trébol ladino y rojo Híbrido <i>Trifolium spp</i>	5.7		
		Lechuga <i>Lactuca sativa</i>	5.2		
		Pimiento <i>Capsicum annum</i>	5.1		
		Rábano <i>Raphanus sativus</i>	5.0		

- 1/ Cee Significa la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo indicada en milimhos por centímetro a 25°C, asociado a una disminución en los rendimiento de 50 por ciento.
- 2/ La cebada y el trigo son menos tolerantes durante las fases de germinación y plántula. Cee no debería exceder de 405 mmhos/cm.
- 3/ Sensible durante la germinación. Cee no debería exceder de 3 mmhos/cm.
- 4/ Los datos de tolerancia pueden no ser aplicables a nuevas variedades semienanas de trigo.
Ayers, 1977.

Anexo 2: Guión de entrevista

A continuación se presenta el guión que se elaboró para la entrevista realizada al investigador y encargado del campo experimental de floricultura de la planta del Naranjo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias “INIFAP”,

Entrevista semiestructurada realizada el Miércoles 19 de Agosto del 2011 a las 10:00 am.

GUION DE LA ENTREVISTA REALIZADA A INVESTIGADOR DE INIFAP

Presentación:

Nombre:

Puesto:

¿Cómo surgió el proyecto del campo experimental?

¿En qué consiste el proyecto?

¿Qué dificultades ha encontrado a lo largo del proyecto?

¿Qué ventajas hay de utilizar agua tratada?

¿Cómo ve la percepción de la gente en el valle de Manedero, en cuanto al reuso de agua tratada?

¿Existe voluntad política para el reuso del agua tratada en el valle de Maneadero?

¿Resultados de utilizar agua tratada?

¿Punto de vista sobre el futuro en el reuso de agua tratada para el valle de Maneadero?

Agradecimiento

Anexo 3: Analisis de entrevista

INIFAP

- Proyecto que surge por iniciativa de los floricultores y es avalado por el INIFAP. Lo que se está haciendo ahí es un proyecto netamente agronómico a 3 años, siendo este, el primer año.
- Lo que busca es cómo utilizar el agua eficientemente en floricultura (cantidad, calidad, lugar). Una parte importante de este proyecto es la difusión a los agricultores, y la observación en el campo, para que vean el producto.
- Este proyecto consiste en el riego de cultivos de flor, en la planta del Naranjo y en un futuro de llevar este proyecto al riego de árboles de olivo, y forrajes. Analizando la calidad del agua y del suelo con parámetros, como huevos de helminto, salmonelosis y contenido de sales.
- Se complementa con nutrientes que faltan al agua (fósforo) cuidando la demanda de nutrientes de las flores, para evitar problemas en las flores.
- Se plantea en un futuro, el análisis de nutrientes de las flores, así como análisis bacteriológico con monitoreos mensuales.
- Respecto al por qué no se ha podido utilizar el agua tratada. Percepción, miedo de que les rechacen sus productos a la hora de exportarlos, acuerdo de CESPE para regresar agua a Maneadero. Precio del agua tratada m³.
- Si actualmente hay buena calidad del agua no van a querer al agua tratada, pero aquel que no tenga agua, la va a aceptar.
- Los resultados obtenidos en el primer año arrojaron que no se encontró contaminación por coliformes fecales, huevos de helminto, ni salmonella en el suelo a una profundidad de 0 a 60 cm. Además el uso de las aguas residuales tratadas, no impidió alcanzar los parámetros de calidad comercial de flor de girasol.
- Adicional a esto las aguas residuales contienen cantidades importantes de nutrientes, que permitieron reducir significativamente las dosis de fertilizantes sintéticos.

SISTEMA PRODUCTO FLOR

- El sistema de producto flor de Baja California, está integrada por 22 productores que participan de forma activa, abarcando una superficie de aproximadamente 423 hectáreas de tierra, de las cuales 350 son a cielo abierto y 73 bajo el sistema de invernadero. Los especies que mayor se producen son los claveles, girasoles, alhelíes, lisianthus, waxflower, petunia, de cera, noche buena, y aromáticas.
- El Sistema Producto Flor de Baja California fue creado en febrero del 2004 mediante apoyo, asesoría y auspicio de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa).
- En el valle de Maneadero se cultivan 320 hectáreas de flores de exportación de las cuales el 90 % son exportadas, producidas por cuatro productores diferentes, quienes rentan las tierras a ejidatarios del valle de Maneadero. Cabe señalar que un solo productor posee 180 hectáreas.
- En su opinión, mientras no exista una reorganización de uso de suelo en las tierras en el valle, difícilmente se podrá llevar a cabo un proyecto con ART, ya que los productores de flor tienen la intención de usarlas, pero si alrededor de sus cultivos existen productores de hortalizas estos no permitirán el riego por temor a que en sus cultivos pudieran contaminarse con las ART.

Anexo 4: Diario de campo

Domingo 27 de Noviembre del 2011

1ER REUNIÓN INFORMATIVA DEL COMITÉ TÉCNICO DE AGUA SUBTERRÁNEAS

Por convocatoria de COTAS Maneadero, el viernes 25 de Noviembre se realizó la 1er reunión informativa del comité técnico de agua subterránea. Para dicho evento fuimos citados a las 3 pm., aunque comenzó alrededor de las 3:30, ya que se estaba esperando a algunos ejidatarios que faltaban por llegar. Aproximadamente asistieron unas 60 personas entre ejidatarios, usuarios, académicos y directivos de COTAS Maneadero, habiendo una mayoría de adultos mayores masculinos, y sólo unas 5 mujeres de edad mayor.

El Ingeniero Alejandro Guzmán gerente operativo de COTAS, quien nos recibió en dicha reunión, y su objetivo fue dar a conocer a los integrantes de COTAS Maneadero (conformado por alrededor de 500 usuarios entre ejidatarios y arrendatarios), la función y la obligación que tiene este organismo, así como el discutir el grave problema de multas por para algunos usuarios de Maneadero. Ya empezada la reunión se habló de por lo menos 4 multas impuestas por parte de CONAGUA a diferentes usuarios del acuífero de Maneadero, por el orden de 280,000 mil pesos aproximadamente, llegando inclusive a intervenir los estados bancarios de estas personas, situación por la cual se encuentran muy alarmados.

El presidente de cotas el Sr. Rigoberto Solorio, mencionó que estás multas muy probablemente se podrían llegar a repetir a mas usuarios de COTAS, y de la continua disminución de concesiones de agua que otorga CONAGUA al ejido.

También se mencionaron las arbitrariedades por parte de CONAGUA al levantar estas multas, y del déficit operativo por parte de CONAGUA, razón por la cual aún no existen más multas al interior del ejido. Por lo cual les daba tiempo de organizarse y hacer frente a dicha problemática. Para este momento, se sentía un ambiente de tensión y de no saber que hacer frente a la situación anterior.

Presentación del tema de reuso de aguas tratadas.

Una vez terminado de discutir lo anterior, el Sr Rigoberto Solorio, presidente de COTAS, cedió

la palabra al Dr. Leopoldo Mendoza E. y al Ing. Sergio Martínez H. El Dr. Leopoldo, retomó el tema de la problemática del agua, asiendo énfasis, en la necesidad de implementar alternativas que ayuden a solucionar el problema de escasez de agua. Por lo que se mencionó la viabilidad del uso de agua tratada para el riego de forraje, floricultura, u otros productos. Siendo evidente el descontento por algunas de las personas presentes, interrumpiendo con preguntas, relacionadas a su interés, en que las aguas se reinyectarán al acuífero. Además fue muy notoria la desconfianza que sienten los agricultores por la calidad del agua tratada, aún cuando en un par de ocasiones se les comentó, que el agua tratada era apta para el riego de flores y forraje. Comentando un usuario de forma muy enojada, de los casos en que se han derramado aguas a la bahía y se ha tenido que cerrar las playas.

El presidente ejidal el Sr José Luis, comentó que algunos de ellos preferían la reinyección de aguas tratadas al acuífero, pero que había escuchado que era muy costoso, y otra persona preguntó, que tan viable era la reinyección de aguas tratadas, a lo que comento el Dr. Leopoldo, que era posible, pero riesgoso, ya que faltaban estudios por realizar. Otro comentario fue que para ellos, no era negocio el plantar flores y que lo que a ellos les interesaba era el continuar exportando, sus hortalizas a los EUA, por lo que no debíamos decirles que es lo que tenían que sembrar. A lo que respondí que nuestra función como académicos era el solamente presentar la información que se tiene, sin importar lo que se plantara.

Debido a la polémica que se suscitó fue necesario que interviniera el presidente de COTAS, dejando claro que nosotros éramos invitados y solo presentábamos información.

Finalizamos la presentación, dando gracias por la invitación, y se dio paso al tema de la puesta de medidores de agua por parte del Ing. Alejandro Guzmán.

Anexo 5: Formato de evaluación de ponderadores

																			
Universidad Autónoma de Baja California Facultad de Ciencias-Instituto de Investigaciones Oceanológicas Maestría en Ciencias de Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas																			
Soy estudiante de la UABC y estoy realizando un trabajo de investigación social, sobre cuales considera son los parámetros más importantes en la calidad de agua para el riego de sus productos agrícolas. Esta información es confidencial y su uso es para fines académicos.																			
Nombre: _____			Productor de: _____																
			Exporta: _____																
Instrucciones: Otorgue un peso del más importante (1) al menos importante (3) a los siguientes indicadores																			
Índice Físico:		Índice Químico:		Índice Bacteriológico:															
Instrucciones: Enumere los distintos parámetros, del más importante (1) al menos importante (6).																			
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">INDICADOR FÍSICO</th> <th style="text-align: left;">IMPORTANCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Temperatura</td><td></td></tr> <tr><td>pH</td><td></td></tr> <tr><td>Sólidos Suspendidos Totales</td><td></td></tr> <tr><td>Sólidos Sedimentables</td><td></td></tr> <tr><td>Turbiedad</td><td></td></tr> <tr><td>Conductividad (Salinidad)</td><td></td></tr> </tbody> </table>						INDICADOR FÍSICO	IMPORTANCIA	Temperatura		pH		Sólidos Suspendidos Totales		Sólidos Sedimentables		Turbiedad		Conductividad (Salinidad)	
INDICADOR FÍSICO	IMPORTANCIA																		
Temperatura																			
pH																			
Sólidos Suspendidos Totales																			
Sólidos Sedimentables																			
Turbiedad																			
Conductividad (Salinidad)																			
Instrucciones: Enumere los distintos parámetros, del más importante (1) al menos importante (2).																			
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">INDICADOR QUÍMICO</th> <th style="text-align: left;">IMPORTANCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Grasas y Aceites</td><td></td></tr> <tr><td>Demanda Bioquímica (DBO₅)</td><td></td></tr> </tbody> </table>						INDICADOR QUÍMICO	IMPORTANCIA	Grasas y Aceites		Demanda Bioquímica (DBO ₅)									
INDICADOR QUÍMICO	IMPORTANCIA																		
Grasas y Aceites																			
Demanda Bioquímica (DBO ₅)																			
Observaciones: _____																			

Anexo 6: Ejemplo de ICA

ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA "ICA"					
		$ICA = (.49 * IF) + (.2 * IQ) + (.31 * IB) * 100$			
INDICADORES					
$IF = T + PH + SST + SS + T + C$ Fecha: 30/11/2011		$IQ = GyA + DBO_5$ Lugar: Planta El Naranjo		$IB = Cf$	
INDICADOR FÍSICO	Muestreo	Nom	Valor	Ponderador	Resultado
1.-Temperatura (°C)	22.2	20-28 C	1	0.1	0.1
2.pH	7.42	6.5-8.5	1	0.15	0.15
3.-Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	8	20 mg/L	1	0.25	0.25
4.-Sólidos Sedimentables (mg/L)	0.1	5 mg/L	1	0.15	0.15
5.-Turbidez (NTU)	3.32	5	1	0.1	0.1
6.-SDT (ppm)	2590	2000	0	0.25	0
IF	0.75				
INDICADOR QUÍMICO	Muestreo	Nom	Valor	Ponderador	Resultado
7.-Grasas y Aceites (mg/L)	5	15 mg/L	1	0.45	0.45
8.-DBO ₅ (mg/L)	2	20 mg/L	1	0.55	0.55
IQ	1				
INDICADOR BACTEROLÓGICO	Muestreo	Nom	Valor	Ponderador	Resultado
9.-Coliformes fecales (NMP/100 mL)	2	240 NMP/100 mL	1	1	1
IB	1				
ICA=	87.75			Amplitud	0.89
DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE AGUA					SEMÁFORO
Excelente (entre 91-100) El producto está protegido con una ausencia casi total de la amenaza o el deterioro Apto para casi todo tipo de riego (frutales, forrajera, floricultura)					VERDE
Buena (entre 71-90) Todos los usos protegidos con sólo un menor grado de amenaza. Apto para casi todo tipo de riego frutales, forrajera, floricultura considerando la tolerancia a la salinidad					AMARILLO
Medio (entre 51-70) Varios usos amenazados o impedidos Con riesgo de no cumplir con la normatividad					NARANJA
Mala (entre 26-50) Potencialmente contaminado Alto riesgo de no cumplir con la normatividad					ROJO
Muy mala (entre 0-25) Mayoría de los usos amenazados o impedidos Requiere acción urgente					