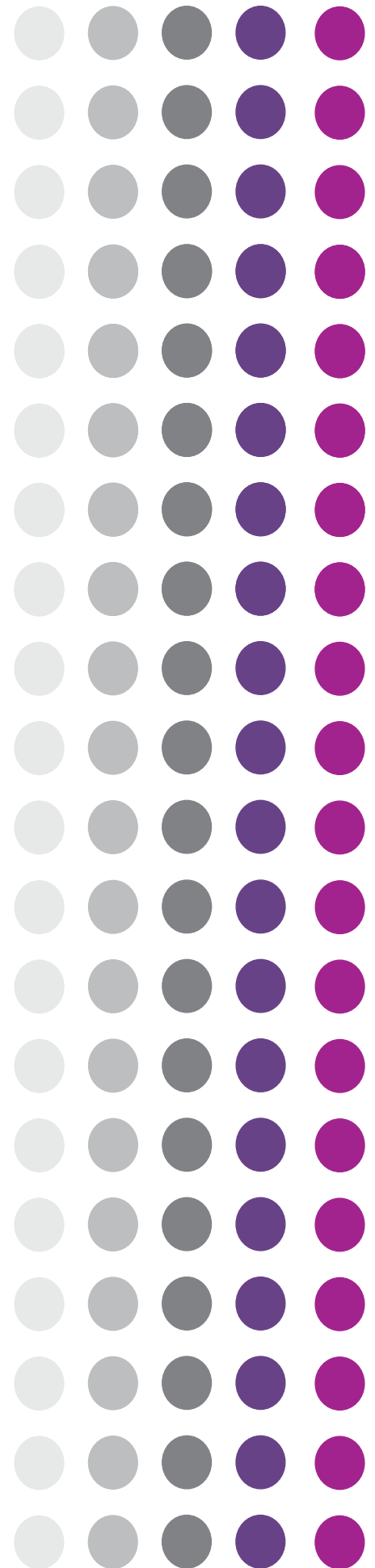


TANYA PIÑERA PALACIOS
ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS REGENERADAS
EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



“ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.”

T E S I S

Para obtener el grado de
M A E S T R O

Presenta

TANYA PIÑERA PALACIOS

Director de Tesis. Dr. Jorge Augusto Arredondo

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA.

DICIEMBRE DE 2011.

Resumen

En los últimos años, el tema del agua ha sido discutido en varias agendas internacionales. La agenda 21 de las Naciones Unidas como plan para el desarrollo sustentable global exhorta a la comunidad mundial a cuidar el agua y en general los recursos naturales, así como aumentar al máximo de la reutilización y el reciclado ecológicamente racionales de los desechos.

A grandes rasgos, la sustentabilidad en el uso del agua tiene que ver con la administración, conservación, reúso y reciclaje del recurso. La mejor opción para sobrellevar la crisis del agua es reusar o reciclar la mayor cantidad de agua posible.

Este estudio centra su temática en la importancia del agua en nuestro planeta, así como el trascendente rol que representa el reúso del recurso en su conservación. La investigación tiene como objetivo identificar y clasificar, de acuerdo a una adaptación de la *Guía de Reúso del Agua* de la EPA y herramientas de evaluación de proyectos, las distintas alternativas de uso de aguas regeneradas de la ciudad de Mexicali, B.C., que pudieran abastecerse a través de la ampliación de la línea morada.

Abstract

In recent years, water issues have been discussed in various international agendas. Agenda 21 of the United Nations, urges the world to conserve water and natural resources, and to maximize reuse and recycling of waste as a way to achieve global sustainable development.

Broadly speaking, sustainability in water use involves management, conservation, reuse and recycling of the resource. The best opportunity to overcome water crisis is to reuse or recycle as much water as possible.

This study focuses on the importance of water on our planet, and the important role that its recycling represents in the resource's conservation. The research aims to identify and classify the various alternatives for the use of reclaimed water from the city of Mexicali, BC, which could supply through the expansion of the purple line, according to an adaptation of EPA's Water Reuse Guide and project evaluation tools,

A la memoria de Timothy Horton Ramsey.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos invertidos en mis estudios de maestría. A la Universidad Autónoma de Baja California por la oportunidad de formar parte de su historia y dejarme ser parte de la comunidad cimarrona.

Agradezco a mi familia por su apoyo y paciencia en estos dos años. A mis padres por abrirme todas las puertas posibles para lograr esta investigación y por haberme enseñado a terminar lo que se empieza, y bien. También agradezco a mis hermanos por hacerme reír cuando pensé que el trabajo no tenía fin.

Un agradecimiento a mis tutores el Dr. Jorge Augusto y la Dra. Judith Ley. Y en especial a la Mtra. Fabiola Denegri De Dios por su apoyo y paciencia, sus observaciones y por siempre animarme con una actitud positiva para culminar este trabajo. Sobre todo le agradezco su disposición incondicional.

Igualmente agradezco especialmente al Ing. Herón Vera Villalobos por su valiosa contribución. Su experiencia y conocimientos representaron una ayuda invaluable para este proyecto.

Agradezco a los empleados de la CESPМ, en especial al Ing. Luis Antonio Hernández por su disponibilidad, paciencia y colaboración permanente. Gracias por compartir la información y enriquecer este proyecto.

A Layla, Christina, Ari, Ary, Aree y Jorge por estar al pendiente de mí siempre y apoyarme en todo momento. A Héctor, por darme la idea de mi tema de investigación y por nunca aburrirse de escucharme hablar de las aguas regeneradas.

A Piñera y Asociados Arquitectos, en especial a la Arq. Areli González, por su apoyo en la realización del sustento visual de este trabajo.

Por último, pero no por eso menos importante, agradezco a Larry Page y Sergey Brin por su ayuda en la búsqueda de los argumentos de esta investigación.

Introducción

Identificación del Problema.
Preguntas de Investigación.
Objetivos.
Hipótesis de la investigación.

Capítulo I MARCO TEÓRICO

Agua y Sustentabilidad
Sustentabilidad Urbana
Manejo Sostenible del Agua
El Agua en las Ciudades
Gestión del Agua
Regeneración de Aguas Residuales.
Legislación y Políticas Públicas
Aspectos Técnicos.
Aspectos Socioculturales
Aspectos Ambientales.
Implicaciones Económicas
Beneficios del Reúso del Agua
Riesgos del Uso de Aguas Regeneradas

Capítulo II METODOLOGÍA

Cómo Planear el Reusó del Agua
Fase 1. Alternativas de Reúso del Agua
Fase 2. Mercado Potencial
Fase 3. Análisis del Mercado Potencial
Fase 4. Evaluación de Costo-Beneficio

Capítulo III RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Alternativas de Reúso del Agua
Mercado Potencial
Análisis del Mercado Potencial.
Evaluación de Costo Beneficio.

Capítulo IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Anexos

Bibliografía

Listado de Figuras

Figura
1.- Consumo de agua potable en México por sectores.
2.- Número de proyectos de reúso de agua residual tratada distribuida por aplicación.
3.- Metodología de la Investigación
4.- Metodología Fase 1. Alternativas de Reúso de Agua
5.- Metodología Fase 2. Mercado Potencial
6. Proceso de Proyección Ampliación Línea Morada
7.- Delimitación del Área de Estudio.
8.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.
9.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.
10.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para uso en el lavado de automóviles.
11.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
12.-Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en hoteles y moteles.
13.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego y limpieza en cementerios.
14.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para uso en el sistema contra incendio municipal.
15.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para uso en el sistema contra incendio municipal.

Listado de Gráficas

Gráfica
1.- Tarifa por consumo de agua potable para uso doméstico en Mexicali 2008-2011 (primeros 5 m ³)
2.- Tarifa por consumo de agua potable para uso no doméstico en Mexicali 2008-2011 (primeros 5 m ³)
3.- Tarifa por m ³ de agua residual sin tratar entregada en planta en Mexicali 2008-2011
4.- Costo del agua residual tratada entregada a domicilio.
5.- Pago mensual por consumo de agua potable.
6.- Consumo de agua potable por actividad.

Listado de Tablas

Tabla
1.- Normas Oficiales Mexicanas Aplicables al Reúso de Aguas Residuales Tratadas
2.-Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas aplicables al Reúso de Aguas Residuales Tratadas
3.- Programas Mexicanos para el Fomento y Promoción del Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales.
4.- Niveles de tratamiento de Aguas Residuales.
5.- Alternativas de aprovechamiento de aguas residuales tratadas de acuerdo a su nivel de tratamiento
6.- Beneficios Económicos del Uso de Agua Regenerada
7.- Ejemplos de actores clave en el Uso de Agua Regenerada
8.- Propuesta de conceptos a consultar con la muestra representativa
9.- Criterios Sociales de Priorización de Alternativas.
10.- Criterios Ambientales de Priorización de Alternativas.
11.- Criterios Técnicos de Priorización de Alternativas.
12.- Criterios Económicos de Priorización de Alternativas.
13.- Límites Máximos Permisibles de Contaminantes NOM-003-SEMARNAT-1997
14.-Límites máximos permisibles para contaminantes básicos para uso público urbano y recreación (promedio diario)
15.-Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros para uso público urbano y recreación (promedio diario)
16.- Límites máximos permisibles para contaminantes para uso público urbano y recreación (Promedio diario)
17.- Resultados del análisis fisicoquímicos de afluentes y efluentes de la PTAR Mexicali de 2010
18.- Cuota por m3 de agua proveniente de fuentes superficiales

Listado de Tablas (continuación)

Tabla
19.- Tarifa por consumo de agua potable para uso doméstico en Mexicali
20.- Costo Aproximado por metro cubico de consumo de agua potable para uso domestico
21.-Costo Aproximado por metro cubico de consumo de agua potable para uso no domestico
22.- Precio total por metro lineal de tubería de línea morada.
23.- Usuarios de la Línea Morada de la CESPМ en la Ciudad de Mexicali, B.C.
24.- Características generales de la muestra no representativa.
25.- Resumen de puntuación de priorización de alternativas de uso de agua regenerada
26.- Resumen de usuarios potenciales de agua regenerada ubicados en el área de estudio de la investigación.
27.- Superficie total de área verde, riego o posible limpieza por usuario potencial por alternativa.
28.- Superficie total de área verde, riego o posible limpieza por usuario potencial por alternativa.
29.- Presupuesto de ampliación proyecto Línea Morada en Mexicali, B.C. (incluye material y mano de obra.)
30.- Demanda potencial uso de agua regenerada en la ciudad de Mexicali
31.- Costos de tratamiento y bombeo agua regenerada en línea morada CESPМ
32.- Costos de operación y mantenimiento línea morada CESPМ

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

El agua es un recurso que nos mantiene con vida. Su uso es tan común que muchas veces no nos damos cuenta de su importancia, hasta que ya no la tenemos. Se utiliza para regar plantas y áreas verdes, para consumirla, para divertirnos, para lavar nuestro automóvil, para mantener limpio nuestro hogar, para trabajar, para ejercitarnos. Toda el agua que utilizamos se convierte en agua residual. Es tanta el agua residual producida como el agua potable utilizada.

Actualmente en México, como en el mundo entero, la problemática del agua se ha convertido en un problema político de máxima importancia. Gobernantes e investigadores lo declaran asunto de seguridad nacional. Y aunque pudiera parecer que su efecto es a largo plazo, la realidad es que hoy en día ya se viven las consecuencias de su mal suministro y uso ineficiente. Existen varios factores que determinan el problema del agua, entre ellos el incremento acelerado de la población y los costos de potabilización y tratamiento de agua.

Según las estadísticas, la población de nuestro país crece con una tasa promedio del 8.45% cada 5 años. Lo que indica que para 2030, nuestro país contará con una población de 120, 928,075 de habitantes, de los cuales todos necesitarán agua para vivir. (CONAPO, 2006)

El costo del agua potable aumenta cada vez más. Aunque nosotros solamente abrimos la llave y el agua empieza a correr e igualmente usamos el agua y esta se va, llevarla a nuestros hogares y sacarla de ellos tiene un precio. En los últimos 3 años, según lo mostrado en la Ley de Ingresos para los ejercicios de 2008 a 2011, se ha visto una tasa promedio de aumento de la tarifa del agua del 8.66% anual. Esta misma tarifa incluye el saneamiento.

La sustentabilidad en el uso del agua tiene que ver con la administración, conservación, reúso y reciclaje. La mejor opción para sobrellevar la crisis del agua es reusar o reciclar la mayor cantidad de agua posible con la ayuda de la innovación ingenieril, biotecnológica y, sobre todo, química. Esta alternativa es considerada la más sustentable, ya que consume menos energía, es más económica y requiere menos recursos.

En algunas ciudades el agua residual se recolecta en los sistemas de saneamiento que, a través de plantas de bombeo, la lleva hasta las plantas de tratamiento secundario en donde se remueven los contaminantes para después descargarla en los cuerpos receptores de agua. En otras ciudades el agua se recolecta y se tira, tal y como fue recibida. Hace muy poco que surgieron nuevos esquemas de gestión del agua para dar pauta a una manera más integral de administrar el recurso. La tecnología ha dado pie a nuevas maneras de limpiar el agua y así mismo ha generado nuevas leyes y políticas para exigir y obligar el tratamiento de aguas residuales para su descarga, pero no las suficientes para obligar al reúso.

Aunque no figure como tal, la Comisión Estatal de Servicios Públicos (CESPM), organismo administrador del agua en la Ciudad de Mexicali es pionera a nivel nacional en el tratamiento y reúso de aguas residuales tratadas. Con pocos recursos y poca tecnología ha logrado implementar un sistema de suministro de aguas residuales tratadas para uso directo e indirecto, cumpliendo con la norma oficial mexicana NOM-ECOL-003. El sistema recibe el nombre de Línea Morada y actualmente cuenta con 20.7 km de tubería en funcionamiento.

El camino recorrido por la CESPM no ha sido fácil. A falta de recursos, aun cuando las normas y leyes mexicanas, así como tratados internacionales decían lo contrario, la comisión descargaba el agua residual cruda a las aguas del Río Nuevo para su envío a los Estados Unidos de América. (Hernández,

2010) No fue hasta 2007, con la inversión del crédito japonés que se empezaron a tratar las aguas residuales para su descarga.

Actualmente la ciudad de Mexicali cuenta con el 39.94% del total de las plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en el estado de Baja California. (SEMARNAT, 2008) Lo cual, frente a la limitada disponibilidad de las fuentes de agua y la terrible escasez del recurso que atemoriza al mundo actualmente, representa una ventaja y un desafío para la implementación de nuevas alternativas para el uso de aguas regeneradas.

De las 4 plantas de tratamiento ubicadas en la ciudad, solamente una de ellas, Zaragoza, cuenta con tratamiento terciario, el cual permite remover la materia orgánica y los metales pesados del agua residual y le da un color y olor agradable para su reúso. Para la construcción de esta planta de tratamiento se utilizaron materiales sobrantes de otros proyectos y mano de obra de planta. No se contaba con un presupuesto exclusivo para su construcción, y desde su inicio fue considerado un proyecto experimental. (Hernández, 2010)

El experimento se convirtió en un proyecto de reúso de agua prometedor: agua regenerada que se puede vender. Sin embargo con el tiempo y por falta de supervisión y dedicación se ha quedado estancado. No se le ha dado la difusión suficiente como para crear una demanda de agua regenerada, y por lo tanto la poca agua que se produce, pues Zaragoza solo tiene capacidad de producir 15 lps, apenas se vende.

La idea de reusar el agua resulta brillante. Es por eso que el principal aporte de este proyecto de investigación es encontrar mercados potenciales de uso de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali que sean compatibles con el proyecto de la línea morada. Así como contribuir en la planeación de este proyecto y probar su rentabilidad a través de análisis de valoración económica.

Se reconoce que aunque no es tarea fácil y la intención no garantiza el enfoque sustentable del análisis, los resultados de este tipo de estudios tienen como valor adicional el proporcionar una imagen del contexto general de la problemática, estableciendo así los elementos clave en la ciudad, como por ejemplo las oportunidades y debilidades, para una gestión orientada a la sustentabilidad.

En resumen, se puntualiza que la investigación se circunscribe al estudio de los usos potenciales del agua regenerada producida en la ciudad de Mexicali para su suministro a través de la línea morada de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. El marco temporal del cual se obtiene la información para esta investigación es de 2008 a 2011, y se considera una proyección en el análisis económico de las alternativas de uso de aguas regeneradas hasta 2025, año al que corresponde la planeación actual de la ciudad de Mexicali, B.C.

La investigación se estructura en cinco capítulos: los dos primeros aportan la visión general de la sustentabilidad urbana y la problemática general del agua a partir de la revisión de bibliografía especializada en el tema. El tercer capítulo describe la estructura metodológica que sigue el trabajo de investigación. El cuarto capítulo describe los resultados obtenidos en la investigación. Para finalizar con el quinto capítulo, que a manera de conclusión, retoma los resultados más importantes del estudio y sugiere recomendaciones para el manejo sustentable del recurso en la ciudad.

Preguntas de Investigación

Las preguntas que guiaran este estudio son:

Pregunta General

1. ¿Cuáles son las alternativas de uso viables para el gasto de agua regenerada producido en la ciudad de Mexicali, B.C.?

Preguntas Específicas

1. ¿Qué usos alternos a los actuales pudieran dársele al flujo que transita por la red de agua regenerada existente en la ciudad de Mexicali operada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali?
2. ¿Cuál es el costo de inversión aproximado para la ampliación de la oferta de agua regenerada de la línea morada existente de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali?
3. ¿Cuál sería la ganancia neta de venta de agua regenerada para la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali si se ampliara la oferta y el mercado de agua regenerada en la ciudad de Mexicali?

Objetivos

Esta investigación tiene como objetivo identificar y clasificar de acuerdo a su viabilidad las distintas alternativas de uso de aguas regeneradas de la ciudad de Mexicali, Baja California. Se define como viable aquello, que por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo.

Hipótesis de la Investigación

La hipótesis de trabajo que sugiere posible explicación y solución al problema es:

“Existe una demanda de agua regenerada no explotada en la ciudad de Mexicali, B.C., la cual puede verse cubierta al ampliar la línea morada de la ciudad de

Mexicali que opera la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM). Esto puede representar un beneficio social y económico tanto para la población mexicalense como para el organismo operador.”

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

Agua y Sustentabilidad

Sustentabilidad Urbana

El desarrollo sustentable forma parte del acervo cultural del siglo XXI. Ecologistas, técnicos y hasta políticos, medios de comunicación y la ciudadanía en general utilizan con naturalidad y frecuencia este concepto con el fin de expresar de forma general e imprecisa sus deseos de lograr una mejor calidad de vida y un mayor respeto hacia el medio ambiente. (Fernandez Güell, 2004)

El concepto ha ido evolucionando y ganando precisión desde que fuera utilizado por primera vez a principios de los años setenta. El Informe Brundtland define al desarrollo sustentable como aquel desarrollo que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas. (WCED, 1987, pág. 24)

La sustentabilidad debe respetar al ecosistema por lo menos en cinco ejes: el medio vivo donde se asienta, los elementos energéticos que lleven al ahorro, los materiales para la construcción, reciclar para evitar el desperdicio y la reutilización y movilidad del residuo. (Calzada Cortina, 2009) A pesar de las continuas precisiones y refinamientos, el término sigue prestándose a la ambigüedad, lo cual da lugar a un uso simple y, la mayoría de las veces, equivocado. Gran parte del problema recae en la inadecuada traslación del concepto a áreas del conocimiento ajenas a las ciencias ambientales.

La sustentabilidad es un concepto amplio. No solo establece una relación estructural en donde la sociedad determina las transformaciones de la naturaleza, si no que agrega la idea integral del fenómeno socio espacial. El medio ambiente construido desempeña un importante papel en el logro del desarrollo sustentable, especialmente el urbano, en el que la demanda de recursos y la generación de desechos que provoca la población concentrada

superan la capacidad de carga de su región de apoyo. (Gonzalez Couret, 2005) La ciudad debe ser vista como una figura de múltiples lados y relaciones que no pueden observarse en toda su complejidad al mismo tiempo y que, sin embargo, están ahí, expresando que enfrenta variadas contradicciones y problemas que para ser tratados requieren de la completa conciencia del poliedro como tal y no sólo de alguna de sus caras.

El desarrollo sostenible es hoy en día un marco teórico para establecer objetivos y orientar políticas, aunque a la fecha, apenas se han desarrollado algunas acciones parciales que en su mayoría proponen la reducción de la insostenibilidad como camino para ir definiendo el nuevo modelo de ciudad. Sin embargo, la contribución de las ciudades al desarrollo sostenible debe plantearse a partir del análisis de sus condiciones actuales de crecimiento y funcionamiento. (Noguera Torrecillas, s/a)

Los motivos que hacen necesaria la sostenibilidad en la ciudad pueden resumirse en tres puntos:

- a) Una gran parte de los problemas ambientales tienen su origen en las ciudades y entornos industriales.
- b) Las ciudades son grandes demandantes de recursos naturales y energéticos.
- c) Las ciudades son las que más población agrupan y de ello surgen problemas socioeconómicos como el paro, alienación, economía sumergida, marginación.

Una ciudad sostenible se organiza de manera que posibilite que todos sus ciudadanos satisfagan sus propias necesidades y que eleven su bienestar sin dañar el entorno natural y sin poner en peligro las condiciones de vida de otras personas, ahora o en el futuro.

Entre las limitaciones que tienen nuestras ciudades para ser sostenibles es que predomina un modelo lineal de producción, consumo y eliminación urbana, siendo necesaria la introducción de sistemas metabólicos circulares (los productos de desecho se convierten en materias primas del sistema productivo). Los elementos fundamentales del metabolismo urbano son: el agua, los residuos sólidos y la energía. (Noguera Torrecillas, s/a)

La ciudad requiere la entrada de materiales y energía, las cuales se obtienen de la explotación de otros sistemas en la naturaleza. “La capacidad de control de la ciudad sobre ciertos “flujos” de materiales y energía, también de información, en cualquier parte del planeta permite que estos se mantengan organizados a expensas de la explotación de otros ecosistemas, que se verán simplificados (Fernández, 2008, pág. 44).” Los flujos de recursos naturales: materiales y energía, circulan hasta los sistemas urbanos y sus modelos de organización del territorio, de movilidad, de residuos, de gestión del agua, entre los más importantes. El aumento o disminución en la explotación de recursos depende de los modos de organización urbanos, es decir de los flujos de información. “Pero los flujos no van en una única dirección, o sea, desde los sistemas explotados a la ciudad, sino que los materiales y la energía una vez han entrado en los modelos de organización urbanos salen de ellos en forma de residuos contaminantes que impactan sobre los sistemas que nos soportan. Aquí se incorpora un segundo plano diagnóstico: el metabolismo urbano.” (Fernández, 2008, pág. 44)

Así, las ciudades son algo más que estructuras de piedra y hormigón; son además, inmensos procesadores de alimentos, combustible y de todas las materias primas que nutren a la civilización. Son enormes organismos de metabolismo complejo sin precedentes en la naturaleza; son de naturaleza artificial, ya que concentran (en un área pequeña) cantidades de alimentos, agua y materiales que son mucho mayores de lo que la naturaleza es capaz de

proveer; consecuentemente, el consumo de estos recursos genera enormes cantidades de basura y agua residual, y del mismo modo que la naturaleza no puede concentrar todos los recursos necesarios para hacer sostenible la vida urbana, tampoco puede dispersar los desechos producidos. (Yunén, 1997)

El equilibrio de la naturaleza descansa entonces sobre el desarrollo armonioso de sus ciclos. En lo que respecta al agua, su ciclo se ve crecientemente alterado y perturbado. El principal alterador de este ciclo es el desenfrenado y acelerado crecimiento de la población y la continua urbanización. “El desplazamiento de lo rural a lo urbano y de la baja a la alta densidad tendrá implicancias mayores para el aprovechamiento de agua y los sistemas sanitarios de evacuación.” (Lepe Zapata, 2002, pág. 23) El rápido crecimiento urbano, aunado al infortunado desarrollo económico, creará enormes problemas ambientales y de salud.

El máximo aprovechamiento y protección de los recursos disponibles constituye un aspecto radical para la sustentabilidad urbana. En algunos sectores de los países desarrollados se estimula el consumo de recursos naturales, no contaminantes, renovables, reciclables, reciclados y disponibles localmente. El reciclaje de la mayor cantidad de desechos posibles minimiza la cantidad de residuos que se incorporan al medio ambiente y con ello su contaminación. Sin olvidar que el residuo reciclado puede ser ahora un recurso o materia prima.

Entre los principales recursos que deben protegerse y aprovecharse al máximo, además de las materias primas utilizadas en la producción de materiales y procesos constructivos, se encuentran el suelo urbano, el verde urbano, el relieve, la topografía y el agua. (Gonzalez Couret, 2005)

El uso racional del suelo urbano evita el crecimiento excesivo de las ciudades que ocupan áreas con aptitud para producir alimentos, y al mismo tiempo reduce las distancias para la transportación de personas y abasto. Las áreas verdes urbanas desempeñan múltiples funciones de saneamiento ambiental, como producción de oxígeno, filtro para la contaminación, barrera contra ruido, etc. En los climas cálidos, el efecto de la “sombra viva” es indispensable, ya que contribuye notablemente a la reducción de la temperatura en espacios exteriores.

Otro aspecto importante en la sustentabilidad de las ciudades es garantizar un buen sistema de transporte público, integral, accesible y cívico, construir corredores adecuados y protegidos para los ciclistas y peatones, desalentando el uso del automóvil individual.

El diseño bioclimático en distintas escalas constituye otro medio para mejorar las condiciones ambientales y reducir el consumo de energía convencional en los espacios habitables. Los acabados de las superficies, horizontales y verticales, con su absorbencia y emisividad, también influyen en las temperaturas de los espacios exteriores urbanos.

Por otra parte, el agua es un preciado recurso que puede ser reciclado o reusado, tanto a escala de los edificios, como a escala de ciudad. Pues más allá de mantenernos vivos, el agua cumple un sinnúmero de roles. Las plantas dependen de ella para transportar sus nutrientes. La naturaleza esta en constante interacción con el agua, que transporta alimentos, energía y minerales a través de los cuerpos, las plantas, el aire y la tierra. El agua es el único solvente que se mueve de manera constante disolviendo contaminantes y llevándolos en su ciclo a través de los ríos y los mares.

“Solo el agua tiene la propiedad de elevarse en forma de vapor, regresar en forma de lluvia y transitar de las montañas a los valles cumpliendo sus funciones movida solo por la fuerza de gravedad.” (Lepe Zapata, 2002, pág. 23) Sin embargo, parece que las ciudades se empeñan día a día en obstruir el curso normal de este ciclo. En ellas la relación con los ambientes acuáticos parece haberse transformado por completo: los ríos se han contenido a través de canales, el agua para beber asoma por las llaves y el agua sucia recorre las alcantarillas.

Si contáramos con el poder de ver a través del suelo y los muros de las edificaciones, descubriríamos un asombroso sistema que hace posible la vida en la ciudad. Una retícula densa, compuesta de arterias que llevan el agua hasta los más altos pisos, para después devolverla a través del alcantarillado, en forma de agua residual.

“Pero además se ha canalizado y enterrado el agua de la ciudad. Se ha reducido el caudal de los cuerpos receptores, rectificado y cementado los lechos y se han eliminado las áreas filtrantes y los terrenos inundables, aumentando enormemente la cantidad y la velocidad de las aguas provenientes de la lluvia.” (Lepe Zapata, 2002, pág. 25)

Cuando alguna de las obras hidráulicas del hombre falla, entonces volvemos a percibir de modo traumático la relación fundamental de la ciudad con el agua. Más allá de la tecnología y sus avances, la calidad de las aguas naturales señala una barrera de separación entre lo civilizado y lo incivilizado, entre la calidad de vida y la miseria. (Lepe Zapata, 2002)

Manejo Sostenible del Agua

El concepto de sustentabilidad necesita desmenuzarse en parámetros medibles. La sustentabilidad, cuando es considerada en un contexto local,

puede ser traducida a metas específicas, selección de criterios y características medibles que pueden guiar las decisiones en la administración del recurso. Las técnicas de valoración de sustentabilidad son utilizadas para comparar las distintas alternativas que se tienen en sistemas de tratamiento y reúso de aguas residuales, además ayudan a mejorar el funcionamiento de los sistemas ya existentes, así como a medir el progreso en el camino hacia la sustentabilidad. (Kennedy & Tsuchihashi, 2005)

Es posible desarrollar criterios e indicadores para los sistemas de tratamiento y reúso de aguas residuales. Estos criterios incorporan no solamente las metas funcionales del sistema, sino también las características ambientales, sociales y económicas. Las condiciones locales del proyecto serán de gran influencia en las metas y su importancia. A continuación se enlistan algunos criterios de sustentabilidad para la administración del agua:

Según Manian Ramesh, jefe de tecnología de Nalco, una empresa de los Estados Unidos especialista en servicios del agua, la sustentabilidad en el uso del agua tiene que ver con la administración, conservación, reúso y reciclaje. (Milmo, 2009)

El mundo tiene tres opciones para sobrellevar la crisis del agua. El agua puede ser transferida desde lugares donde la demanda es menor que la oferta hacia lugares con escasez del recurso. Puede haber un incremento masivo en la construcción de plantas desalinizadoras, las cuales convierten el agua de mar en agua dulce, aunque esto solo beneficia a las localidades costeras. La tercera opción es reusar o reciclar la mayor cantidad de agua posible con la ayuda de la innovación ingenieril, biotecnológica y, sobre todo, química. Esta alternativa es considerada la más sustentable, ya que consume menos energía, es más económica y requiere menos recursos.

Según expertos, a raíz del calentamiento global y el cambio climático, el agua y su disponibilidad y calidad serán las mayores presiones y problemáticas de la sociedad y el medio ambiente en los próximos años. Peter Brabeck-Letmahe, CEO de la compañía Nestlé, predice que las fuentes de agua llegaran a su tope, mucho antes de que lo hagan las fuentes de petróleo. (Milmo, 2009)

“En promedio, la demanda de agua alrededor del mundo ha aumentado 6 veces más rápido que el aumento de la población. La explotación de los recursos acuíferos se ha presentado no tanto para satisfacer las necesidades de la vivienda, sino por el gran incremento en la producción industrial y sobre todo por la agricultura.” (Milmo, 2009)

Hoy en día gran parte del mundo vive con estrés de agua, el cual se presenta cuando la disponibilidad de agua es menor a 1,700 m³ per cápita anual. En lugares del Medio Oriente y el Norte de África la disponibilidad per cápita está por debajo de los 200 m³, mientras que en las economías emergentes de China y la India, gran parte del territorio sufre de escasez de agua. Aun en los países desarrollados como los Estados Unidos existe insuficiencia de agua en ciertos lugares. En enero de 2009, Administradores del agua de California advirtieron estar pasando por la peor sequía de la historia moderna.

Los gobiernos y políticos, así como las industrias manufactureras, granjeros, municipalidades y otros usuarios mayoritarios del agua empiezan a darse cuenta que debe hacerse aún más para reducir el consumo del recurso y aumentar sus niveles de reciclaje.

Según Richard Seeber, especialista y participante en el reporte de escasez de agua por parte del Comité de Medio Ambiente del Parlamento Europeo el agua es renovable. Seeber encontró que el 40% del agua utilizada en la Unión Europea podría ser ahorrada y comenta que el agua puede ser

reciclada cuantas veces se desee, siempre y cuando se utilicen las tecnologías adecuadas. De esta manera el agua nunca llegara a su nivel pico. (Milmo, 2009)

El camino hacia la reducción del consumo de agua en los diferentes ámbitos y en cualquier entorno espacial y hábitat consiste en la redistribución de la conducción y canalización de aguas, de forma que gran parte de las aguas empleadas puedan ser recuperadas y reutilizadas.

Hay mucho trabajo que hacer en reducir el consumo, en todos los ámbitos pero principalmente en los que mayor porcentaje del gasto suponen, como la agricultura. Es imprescindible mejorar los sistemas de riego. Las pérdidas de agua dulce en la red de distribución son impresionantes: 25-50 % en urbanas y 40-60% en agrícolas. (Ramirez Rodríguez, 2006)

La eficiencia en el uso del agua incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua.

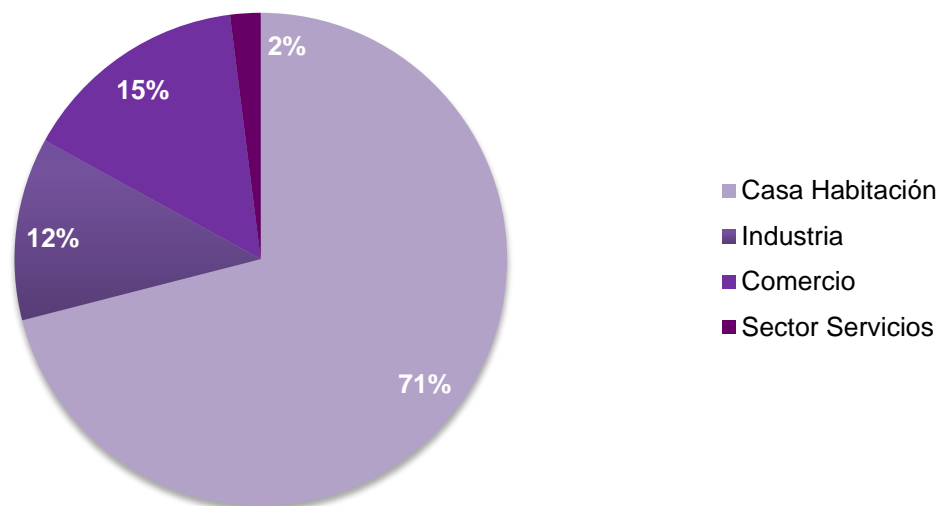
El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de ellos. Baumann define el uso eficiente del agua como cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Esta definición sugiere dar un sentido social y económico a las medidas de eficiencia, además de reducir el uso del recurso por unidad de actividad. (Tate, 1991)

En las ciudades ocurren grandes porcentajes de fugas. Así mismo, se utilizan tecnologías derrochadoras de agua, no se reusa este recurso, los sistemas de facturación y cobranza son deficientes, las tarifas por el servicio

frecuentemente no cubren los costos del suministro y existe poca conciencia ciudadana. El usuario que más agua consume es el doméstico.

“Las técnicas de uso eficiente en las ciudades se pueden clasificar en cinco grupos: comunicación y educación, detección y reparación de fugas, medición, sistemas tarifarios y reglamentación.” (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991, pág. 10)

Figura 1.- Consumo de agua potable en México por sectores.



Fuente: (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991)

El éxito de cualquier programa de uso eficiente del agua depende directamente de la participación de la comunidad. Y para ellos es indispensable establecer acciones de comunicación y educación.

“Los medios para hacer del conocimiento de los usuarios los objetivos, metas y resultados del programa son variados, incluyen desde avisos en los recibos de pago, campañas publicitarias en prensa, radio y televisión, anuncios en la vía pública y sistema de transporte hasta la distribución de dispositivos ahorradores. Se estima que este tipo de programas puede llegar a producir ahorros de entre un 4 y 5% de la producción total de agua.” (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991, pág. 10)

En relación con la educación formal, es de gran importancia fortalecer los programas de educación primaria y secundaria, en aspectos básicos como el ciclo hidrológico, de dónde viene, cuánto cuesta y a dónde va el agua usada en las ciudades. Más importante que esto, inculcar acciones que niños, jóvenes y adultos puedan llevar a cabo de manera inmediata, como el uso adecuado del agua en jardines, excusados, regaderas o lavabos.

Otro punto importante en el manejo sostenible del agua es la detección temprana y reparación de fugas. Las pérdidas en los sistemas de agua potable y alcantarillado se deben a la evaporación y filtración en los vasos de almacenamiento y regulación, a las fugas en las redes y en las tomas domiciliarias; a la imprecisión de la medición o a la ausencia de ella y, en consecuencia, a la mala estimación, a las tomas clandestinas y al agua no contabilizada que se usa en los servicios municipales, como el riego de áreas verdes o arbotantes para el control de incendios.

Los factores que influyen en las pérdidas en las redes son la edad y material de las tuberías, las cargas actuantes (tráfico, sismos, etc.), la calidad y presión del agua, el tipo de suelo, el acatamiento a las normas de construcción y el mantenimiento. (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991)

Por otro lado, la medición es el primer paso en cualquier programa de uso eficiente del agua, dado que permite inducir la reducción del consumo y hacer más justo el cobro. Puede ser un proceso costoso desde la etapa de instalación hasta la de mantenimiento, por lo que conviene planear con mucho cuidado la administración de la medición.

La edad, la calidad del agua y la instalación inadecuada son algunos de los factores que influyen para que su funcionamiento no sea el correcto. (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991)

Igualmente, las tarifas son un punto importante en el uso sustentable del agua. Estas pueden ayudar a ahorrar agua si en su estructura se observan las siguientes condiciones: que reflejen el costo real, que estén relacionadas con los consumos, que los incrementos diferenciales sean grandes para que puedan inducir a ahorrar agua y que los cambios de tarifas estén acompañados de programas de comunicación y educación. (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991)

Así mismo, los reglamentos para hacer más eficiente el uso del agua son restrictivos y tienen efecto en el ahorro del líquido a mediano o largo plazo. Normalmente los reglamentos aplicables sólo durante las épocas de escasez requieren de una vigilancia muy estricta y, por lo tanto, se recomienda que se apliquen sólo cuando sea realmente necesario.

En México, existe el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal. De igual manera, en algunos estados de la República Mexicana existen también reglamentos relativos al uso eficiente del agua, y actualmente se está promoviendo que se establezcan en todo el país. (Comisión Nacional del

Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991)

El uso eficiente del agua no sólo brinda beneficios al sistema que lo efectúa, sino también para otros usuarios. “Por ejemplo, el ahorro del líquido en zonas habitacionales implica una menor explotación de ríos y acuíferos, una mejor calidad del agua, una menor necesidad de obras nuevas (y menores cargas de impuestos); además, al reducirse los consumos, hay menos agua residual, menos necesidad de obras de drenaje, más facilidad de tratamiento y menos riesgo de contaminación de los cuerpos receptores.” (Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. , 1991, pág. 1)

Ahora que la escasez del agua y su creciente contaminación son más evidentes, es momento de implementar acciones intensas de promoción, difusión, investigación y apoyo en general al uso eficiente. La construcción de nuevas obras, tiene su propia inercia y se defenderá sola, incluso a veces habrá que luchar contra ellas. En las casas, los usos del agua pueden clasificarse en interiores y exteriores:

- Usos interiores.- en una casa habitación puede utilizarse hasta un 35% del consumo interior en los excusados; un 30% en las regaderas, un 20% en las lavadoras de ropa, entre un 3 y 10% en las llaves de fregaderos y lavabos y un 5% en las lavadoras de trastos.
- Usos exteriores.- en aquellos domicilios que cuentan con jardines puede llegar a utilizarse 50% del agua en cada tipo de uso.

En las industrias también se puede usar mejor el agua. La calidad del agua requerida varía según el tipo de industria y su uso dentro del proceso, por lo que en una misma planta industrial pueden requerirse aguas de diferente

calidad. Los usos industriales del agua se pueden dividir en tres grandes grupos: transferencia de calor, generación de energía y aplicación a procesos.

Es un desperdicio irrigar áreas verdes, huertos y árboles con grandes cantidades de agua potable, cuando las plantas pueden vivir con agua previamente utilizada, que contiene pequeñas cantidades de composta, grasa y minerales. Entre los beneficios de reutilización de agua gris se encuentran:

- Menos uso de agua potable.
- Menos carga para los ríos, lagos y arroyos, las plantas de tratamiento y las fosas sépticas.
- Recarga de los mantos acuíferos
- Posibilidad de sembrar y mantener plantas aun en tiempos de sequía.

Según Sean Milmo (2009), incrementar los niveles de reúso del agua requerirá de químicos y materiales más sofisticados para uso en plantas de tratamiento. El agua misma será reciclada, así como los elementos que la conforman, tales como nutrientes y fosforo en el riego para la agricultura, calor y energía en el agua y hasta las partículas y sustancias que conforman los químicos. El sedimento de las aguas residuales será secado y transformado en biomasa para la producción de biogás o la generación de bio-electricidad y calor.

La necesidad de contar con sistemas efectivos de tratamiento y reúso de aguas residuales se ha convertido en una urgencia debido a la escasez del recurso, tomando en cuenta que el cambio climático hará de esta escasez una situación cada vez más crítica.

Se espera que la proporción de agua reusada en los Estados Unidos aumente del 6% (2005) a 15% en pocos años, como resultado de la inversión en sistemas de tratamiento y reciclaje del recurso alrededor del país. La legislación

en los EUA, como la de la Water Framework Directive y las restricciones al relleno sanitario y disposición de residuos está forzando a las industrias y municipalidades a implementar técnicas de reciclaje. (Milmo, 2009)

En España el gobierno quiere incrementar sustancialmente los niveles de agua reciclada después de completar un programa de expansión de capacidad de desalinización. El Ministro de gobierno ha indicado que pretende aumentar la disponibilidad de agua para reúso de 12% a un 44%. Igualmente, Israel planea regenerar alrededor de un cuarto del consumo de agua domestica para riego de plantíos. Singapur pretende reusar el 30% de su agua durante los próximos dos años. En China, Beijing ya reúsa alrededor del 50% de su agua después de la modernización de la infraestructura de tratamiento de aguas que tuvo en el 2008. (Milmo, 2009)

Los procesos de reciclaje de agua comprenden varias fases de tratamientos primarios, secundarios y terciarios que eliminan o separan los diferentes grupos de contaminantes, como sales y iones, materia orgánica natural, micro contaminantes, partículas y coloides, biomasa y patógenos. (Milmo, 2009)

Un proyecto de aprovechamiento de aguas residuales sustentable debe servir la mayoría de sus roles funcionales a mediano y largo plazo sin desplazar problemas ambientales a las generaciones futuras o producir efectos socio económicos adversos a lo largo de su vida útil.

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, ASCE (por sus siglas en inglés) define los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas sustentables como “aquellos diseñados y administrados para contribuir plenamente a los objetivos de la sociedad, ahora y en el futuro, mientras mantienen su integridad ecológica, ambiental e hidrológica. (Kennedy & Tsuchihashi, 2005)

El reúso de aguas residuales juega un rol importante en la sustentabilidad de la administración del agua, primeramente como un medio para aumentar las fuentes de agua locales y reducir las descargas de aguas residuales. El reúso de agua resulta atractivo en regiones donde las fuentes de agua están al tope de su capacidad y no pueden abastecer su propia demanda del recurso. Mientras que los beneficios potenciales del reúso de agua son bastantes, su contribución a la sustentabilidad del recurso y el bien de la sociedad dependen en gran parte de la compatibilidad del diseño del sistema de tratamiento con las condiciones del lugar en donde se localiza. (Kennedy & Tsuchihashi, 2005)

Algunos de los beneficios potenciales del reúso del agua son los siguientes:

- a) Conservar las fuentes de agua de alta calidad sustituyéndola por agua tratada en las actividades donde la calidad del agua no es una necesidad.
- b) Aumentar las fuentes de agua locales, reduciendo la dependencia en fuentes de importación.
- c) Reducir el desvío de agua fresca de los cuerpos de agua naturales.
- d) Reducir la descarga de contaminantes al ambiente, protegiendo la salud ambiental y humana.
- e) Mejorar la confiabilidad de las fuentes de agua locales durante épocas de sequía.
- f) Prevenir la intrusión de agua salada a los acuíferos de agua dulce.
- g) Mejorar la confiabilidad en el agua subterránea.
- h) Reducir el uso de energía, químicos y materiales mediante la reducción de las necesidades de los sistemas de tratamiento de aguas.
- i) Retrasar o eliminar la necesidad de modernizar o expandir la infraestructura de uso y reúso del recurso.
- j) Reducir el uso de fertilizantes artificiales.

El reúso del recurso ha evolucionado con el paso de los años. Antes se consideraba solamente un proceso ingenieril con un solo objetivo. Muchos proyectos de reutilización de aguas residuales eran implementados solamente para cubrir necesidades inmediatas. Hoy en día forma parte de un proceso integral dirigido a la administración plena del agua.

En países como Estados Unidos, el agua tratada es utilizada primordialmente para el riego agrícola y de áreas verdes. El riego agrícola utiliza 46% del agua tratada del Estado de California, mientras que en Florida, el 45% del agua tratada se utiliza para el riego de áreas verdes. Es posible denotar que las condiciones climatológicas del sitio en donde se lleva a cabo el proceso de tratado determinan el uso que se le dará al reúso del residuo.

El Agua en las Ciudades

El agua en las ciudades existe en 3 diferentes formas: potable, residual y regenerada.

Agua Potable

Se denomina agua potable o agua para uso y consumo humano “aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano”. (SSA, 1994, pág. 1) Esta es apta para la alimentación y uso doméstico, no contiene sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo tales que la hagan peligrosa para la salud. Debe presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

Al conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano se le llama potabilización. (SSA, 1994) De acuerdo a los expertos de Aqua Purificación Systems (2005), el tratamiento del recurso agua puede

dividirse en dos categorías dependiendo del tipo de agua a purificar, ya sea agua dulce que no ha sido utilizada para cubrir las necesidades del hombre, o agua que éste ha emitido como residuo después de usarla.

El agua pura no se encuentra en forma natural ya que está normalmente contaminada por el aire y el suelo. Sus impurezas pueden ser orgánicas y/o inorgánicas ya sea disueltas, o en forma de partículas. Estas impurezas provienen usualmente de la degradación biológica de sustancias orgánicas que producen ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; de sustancias inorgánicas como metales tóxicos, partículas como arcillas y sedimentos y de microorganismos como bacterias, virus y protozoos. Los contaminantes químicos corrientes son metales pesados como hierro, manganeso, plomo, mercurio, arsénico, cobre, cinc, compuestos nitrogenados tales como amoníaco, nitrito y nitrato, carbonato o bicarbonato de calcio y magnesio, aniones como cloruro, fluoruro, sulfato y silicatos y las mencionadas, sustancias orgánicas. Aparte de estas sustancias, existen otros contaminantes de carácter antropogénico tales como cianuros, fenoles, cromo y detergentes. (Systems, 2005)

El agua tiene un valor económico, social y ambiental en cualquiera de sus usos. La administración del recurso debe contemplar las relaciones existentes entre economía, sociedad y medio ambiente, entre otros para el buen manejo del recurso.

El agua en sus condiciones naturales tiene un valor económico. Dicho valor se compone de valores de uso directo (consultivo o no consultivo) e indirecto, valor de opción y valor intrínseco (valor de existencia y de legado). Los valores de uso consultivo corresponden al valor para cualquier actividad que consuma agua. Los valores de uso no consultivo corresponden al valor para los usuarios de generación hidroeléctrica, navegación, recreación y cualquier uso

directo de las aguas con la condición de que no se consuma. El valor de uso indirecto se refiere al valor que la sociedad da al recurso por la función que éste cumple. El valor de opción del agua concierne al valor que le da la sociedad al recurso por la opción de poder hacer uso de él o no en el futuro. El valor intrínseco del agua corresponde al valor que se le da al recurso por el hecho de existir en determinados sitios, así como la oportunidad de dejarlo como herencia a generaciones futuras. (Pérez Roas, 2005)

De igual manera, el agua tiene un costo. El costo del agua está compuesto de los costos de capital, costos de operación, mantenimiento y administración, costos de confiabilidad del abastecimiento en calidad y cantidad, costo de oportunidad y los costos de las externalidades impuestas a la sociedad. Los costos de capital corresponden a los costos de las inversiones, reposiciones y rehabilitaciones para el aprovechamiento del recurso. Los costos de operación, mantenimiento y administración son aquellos relativos a operar, mantener y administrar las obras de infraestructura destinadas al aprovechamiento del recurso. El costo de confiabilidad de abastecimiento en calidad y cantidad corresponden a los costos que garanticen una adecuada gestión de la cuenca aguas arriba o provincia hidrogeológica de la cual se abastece el sitio de aprovechamiento. El costo de oportunidad se refiere al costo de privar a otro usuario potencial del recurso debido al uso que va a realizar el que aprovecha el agua. Los costos de las externalidades se refieren al costo que le impone a la sociedad el usuario del agua. Será un costo si la externalidad es negativa como es el caso de usar el agua y devolverla al ambiente en una cantidad y/o calidad menor a la que originalmente tenía. Pueden haber externalidades positivas, no siendo un costo si no un beneficio, cuando el usuario del agua contribuye al bienestar de la sociedad mediante el uso del recurso, por ejemplo, la recarga de acuífero debido a las actividades de riego. Para alcanzar la sustentabilidad en el uso del recurso, se dice deberá equilibrarse el costo total y el valor total del agua. (Pérez Roas, 2005)

La importancia social del agua se basa en valores intangibles y simbólicos, que contemplan aspectos como la disponibilidad, acceso equitativo, satisfacción de las necesidades básicas, preservación de la herencia cultural y religiosa, así como prácticas ecológicamente adecuadas. (Hernández Rodríguez, 2005)

“El valor social atiende a las reacciones del sujeto, sus necesidades, intereses, aspiraciones, preferencias y demás condiciones fisiológicas, psicológicas y socioculturales dados por una evolución histórica, basadas en la organización económica, jurídica, religiosa y tradicional de una sociedad determinada”. (Hernández Rodríguez, 2005, pág. 29)

Reconocer el valor social del agua es además reconocer a este recurso como el elemento fundamental que asegura las condiciones mínimas de dignidad humana. Mitiga la pobreza, promueve la salud, es el elemento fundamental para la seguridad alimentaria y la biodiversidad por lo que constituye para las comunidades la llave fundamental hacia el desarrollo sustentable. (Hernández Rodríguez, 2005)

El valor ambiental del agua es consecuencia directa de su reconocimiento como una parte esencial del ecosistema. Este valor implica el mantenimiento de servicios tales como producción de alimentos, la descomposición de basura orgánica, la purificación del aire, la regulación de la lluvia, el reciclaje de nutrientes, mantenimiento del paisaje y otros que no pueden ser replicables por la tecnología y que en su conjunto garantizan la vida del ecosistema. (Hernández Rodríguez, 2005)

Agua Residual

La Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT (1997) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales

tratadas que se reúsen en servicios al público, establece que las aguas residuales son aquellas aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Como su nombre lo dice, las aguas residuales contienen residuos de distintos orígenes, como pueden ser humanos, industriales o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalajo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Agua Regenerada

Se conoce como aguas regeneradas, o aguas residuales tratadas, aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público. (SEMARNAT, 1997)

Las aguas residuales son conducidas a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) donde se realiza la remoción de los contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos. La salida (efluente) del sistema de tratamiento es conocida como aguas regeneradas. (CESPT, 2007)

Gestión del Agua

La gestión integral de los recursos hídricos es una parte fundamental en la política de desarrollo económico mundial. Frente a esta situación, se ha venido trabajando en modelos de gestión del agua y saneamiento básico, teniendo en cuenta la participación de la comunidad. Este es el modelo que debe implementarse ya que se ha comprobado que la participación de la comunidad en los proyectos de desarrollo da buenos resultados, cuando la población afectada se involucra en los proyectos y se le permite contribuir con

sus conocimientos a la configuración de estos, tornando el trabajo más eficaz y productivo.

Es necesario un debate social que estimule una nueva gestión de grupo basada en una información veraz, en un diálogo continuado; que despoje al agua de unas presiones demasiado mercantilistas que impidan comprender su relevancia social. Una gestión que contemple una alternativa olvidada como es el multiuso, uso selectivo del agua, antes que su utilización indiscriminada. Una gestión que sepa que reducir el desperdicio del presente es una de las más valiosas opciones de futuro.

La Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (2002) sugiere que la aplicación de la gestión integrada de los recursos hídricos debe considerar los siguientes puntos:

- Sensibilización y participación.

Los usuarios deben tomar conciencia de la importancia del agua como recurso escaso y de las responsabilidades que les competen por lo que se refiere a su gestión adecuada. Un factor clave para el éxito de las políticas es que los distintos agentes las hagan suyas, por lo que su participación a todos los niveles es esencial.

- Refuerzo de las instituciones.

El éxito de las actividades depende en gran parte de las capacidades, los recursos y la experiencia de las instituciones responsables. Es necesario proporcionar apoyo a las instituciones encargadas de la gestión del agua.

- Gestión de la demanda.

El reto de la administración de la demanda, el cual consiste en reducir la demanda aumentando al mismo tiempo el rendimiento mediante iniciativas de reutilización del agua, protección de las fuentes de suministro, etc.

- Ampliación de conocimientos.

Los conocimientos y los datos necesarios son esenciales para elaborar políticas eficaces.

- Coordinación.

La coordinación entre los donantes debe intensificarse.

Igualmente, sugiere que el enfoque debe englobar todos los usos del agua, destacando acciones prioritarias en los siguientes ámbitos:

- La seguridad del abastecimiento y la adecuación del saneamiento del agua para todos, haciendo hincapié en la importancia del saneamiento del agua.
- El uso del agua en la agricultura y la producción para garantizar la seguridad alimentaria, destacando la importancia de ahorrar agua y fomentar las prácticas agrícolas sanas para evitar la contaminación de las fuentes de agua.
- La protección y la recuperación de los recursos hídricos y los ecosistemas para contribuir a la sostenibilidad a largo plazo de los usos del agua.
- El agua como fuente de energía y factor de producción para la industria.
- La gestión de los riesgos vinculados al agua y las zonas costeras. Es preciso reducir los riesgos que conllevan las inundaciones, la sequía, etc., mediante la creación de sistemas de alarma y mecanismos de respuesta rápida.
- Es importante movilizar todas las fuentes de financiación pública y privada para desarrollar estas medidas.

Regeneración de Aguas Residuales

El saneamiento despierta en 1850 con el control de la epidemia del cólera en Londres por John Snow; el desarrollo de la teoría de la prevención de la tifoidea por Budd en Inglaterra; el avance de la microbiología con Koch en Alemania y con Pasteur en Francia; el uso del cloro como desinfectante; el conocimiento de la cinética de la desinfección; y el uso de los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales en el año de 1904 por

Ardem y Lockett en Inglaterra. (Arreguín, Moeller Chávez, Escalante Estrada, & Rivas Hernández, 1999)

El reúso planeado de las aguas residuales en Estados Unidos empezó a principios de los años 20 en la agricultura en los estados de Arizona y California. En Colorado y Florida se desarrollaron sistemas para el reúso urbano. La normatividad correspondiente también se inició en California en la misma época. A partir de 1965, se impulsa de manera decisiva el reciclaje y el reúso de las aguas residuales. En Israel, a partir de 1965, se permite el uso de efluentes provenientes de tratamiento secundario para riego (con excepción de los productos que se consumen crudos).

El uso de aguas regeneradas se perfila como una alternativa de gran futuro ya que aumenta la oferta de recursos hídricos y reduce el problema de la contaminación. En las últimas décadas, el avance tecnológico en materia de regeneración de aguas residuales ha sido muy importante, hasta el punto que en la actualidad, la viabilidad de los proyectos de reutilización de aguas residuales está supeditada fundamentalmente a aspectos económicos. (Molinos Senante, Hernández Sancho, & Sala Garrido, 2010) Alrededor del mundo ya son varios los países que reúsan el agua de distintas maneras.

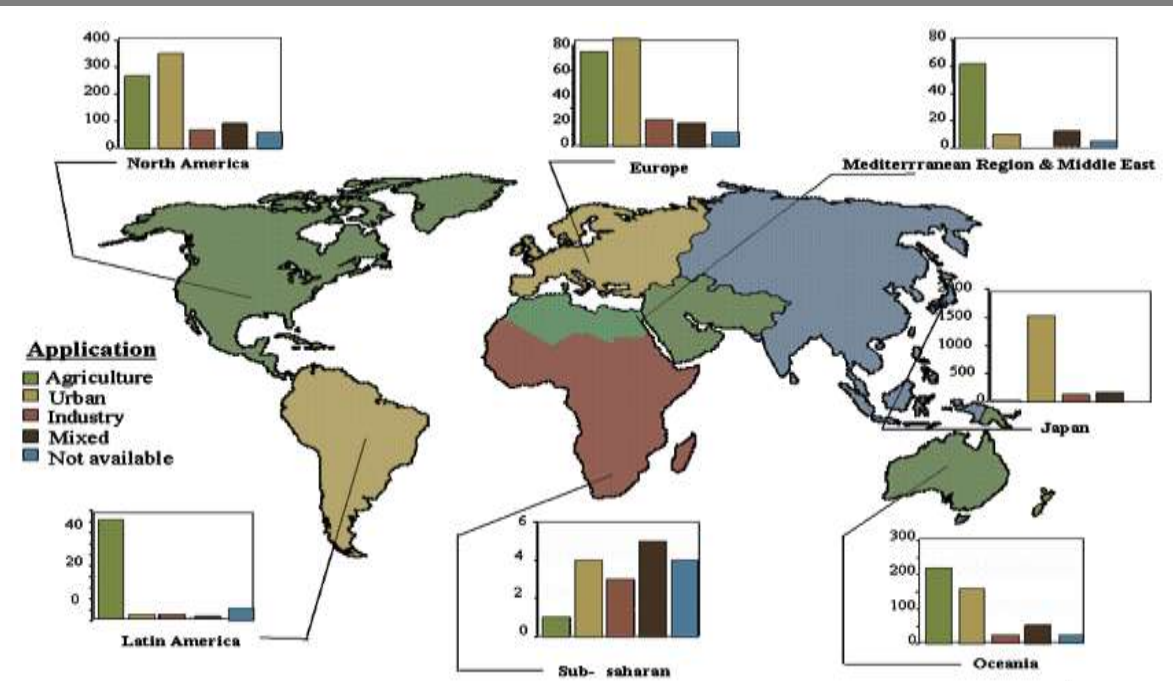
Las estadísticas señalan que para el 2025, el 80% de la población mundial sufrirá de alguna u otra manera la escasez de agua. De ahí la necesidad de tomar medidas hoy. (Blanco, 2007) Gracias a los avances tecnológicos y de conocimiento se cuenta con numerosas alternativas para el uso de aguas regeneradas. Estas alternativas abarcan todo el espectro de usos del agua en general.

Para su estudio, según la Dirección de Hidrología y Aguas Subterráneas de Alicante (1995) se suelen establecer en seis grupos:

- I. Medio Urbano
- II. Industrial
- III. Agrícola
- IV. Medio Ambiente y Recreación
- V. Recarga Artificial de Acuíferos
- VI. Adaptación a recursos de Agua Potable

Cada uno de estos grupos de aplicación plantea una problemática específica en su desarrollo práctico. A continuación se analizará la problemática particular de cada grupo.

Figura 2.- Número de proyectos de reúso de agua residual tratada distribuida por aplicación.



Fuente: (Durham, Angelakis, Wintgens, Thoeye, & Sala, 2005)

I. Medio Urbano

Entre las aplicaciones más habituales de las aguas regeneradas en el medio urbano se pueden citar:

- Riego de parques públicos y centros recreativos, campos deportivos, campos escolares y de juegos, camellones y acotamientos en carreteras.
- Riego de áreas verdes en fraccionamientos y colonias públicas y privadas.
- Riego de áreas verdes de edificios públicos.
- Riego de campos de golf.
- Reúso comercial, por ejemplo: lavado de autos, lavanderías y para mezcla con pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos.
- Para uso en mejoramiento de la imagen urbana, como fuentes, cascadas y estanques.
- Para uso en la construcción.
- Para uso en los sistemas contra incendio.

La reutilización de aguas urbanas puede incluir sistemas de servicios específicos para cada gran usuario. En su planificación se debe fijar si el suministro de agua regenerada ha de ser continuo o discontinuo. En general es aceptable un sistema discontinuo, siempre y cuando exista otra fuente alternativa de suministro.

“La demanda diaria de agua regenerada de un determinado sistema urbano se puede estimar como suma de los consumos diarios en sus diversos campos de aplicación. La estimación de cada uno de ellos sigue los mismos criterios que si el suministro se hace con agua potable.” (IGME, 1995, pág. 11)

En cuanto al sistema de distribución, este debe garantizar la seguridad del servicio y la protección de la salud de los ciudadanos. Por eso debe cumplir con la calidad requerida por el consumidor y las normas, así como

evitar posibles conexiones accidentales con la red de agua potable y cualquier uso incorrecto del agua regenerada.

“En un sistema de reutilización de agua regenerada, no solo se debe construir una red de distribución, sino que además es necesario disponer de un medio de almacenamiento y del correspondiente equipo de bombeo, esenciales para una correcta modulación del caudal.” (IGME, 1995, pág. 12) El volumen de almacenamiento requerido se determina a partir de la demanda y producción diarias de agua regenerada. Es conveniente que los depósitos sean cubiertos para impedir la actividad y el crecimiento biológicos, y mantener una cantidad residual de cloro.

El diseño y dimensionamiento de la red de distribución son similares a los de la red de agua potable, pudiéndose emplear incluso los mismo materiales de construcción. Sin embargo, es importante diferenciar ambas redes para evitar interconexiones. Generalmente se emplean diferentes colores en cada una de ellas, para una identificación visual inmediata.

En caso de emplearse el agua regenerada en la extinción de incendios, al gasto pico se debe añadir el gasto del apagado de incendios. Este parámetro condiciona el diámetro mínimo de las conducciones en todos los tramos de la red, pues el fuego puede producirse en cualquier punto de la ciudad. El sistema debe estar diseñado con cierta flexibilidad para afrontar aumentos potenciales de la demanda en horas pico.

II. Industrial

La reutilización industrial representa un importante mercado potencial para el agua regenerada. Las industrias cuyos procesos no requieran aguas de alta calidad son candidatas ideales para incorporar la reutilización en sus procesos industriales.

Las aplicaciones industriales más frecuentes para las aguas reutilizadas son: sistemas de refrigeración (el más habitual), aguas de alimentación de calderas y aguas de proceso.

Las exigencias de calidad para aguas de refrigeración están relacionadas con la prevención de los siguientes fenómenos: formación de costras, crecimiento biológico, obstrucciones, formación de espumas y corrosión. (IGME, 1995) La idoneidad del uso de agua regenerada dentro de los procesos industriales depende de las necesidades específicas de calidad de cada proceso.

III. Agrícola

“El volumen de agua que es empleado a nivel mundial en la actualidad en agricultura es diez veces mayor que la demanda existente para cualquier otro uso.” (IGME, 1995, pág. 13) Este hecho, unido al evidente ahorro de recursos que proporciona la reutilización agrícola, y la oportunidad de integrarla con otros tipos de aprovechamientos, hace que la mayoría de los proyectos de reutilización la contemplen. Son tres los aspectos que deben tomarse en cuenta en los programas de reutilización en agricultura: necesidades de riego, nivel de calidad requerido, consideraciones acerca del diseño del sistema.

Las necesidades de riego de los cultivos varían de forma mensual en función de las precipitaciones, la temperatura, el tipo de cultivo, el estado de crecimiento de las plantas y el método de riego empleado. Para el suministro de agua para riego será necesario cuantificar esa demanda estacional. Si no existen datos reales acerca de los caudales empleados, será necesario realizar una estimación de las necesidades hídricas, basada en los cálculos agroclimáticos tradicionales. Es importante introducir en dichos cálculos algunas consideraciones específicas para el agua residual, especialmente en lo referente

a agua infiltrada (por la posibilidad de contaminación de acuíferos) y a escorrentía superficial (que debe ser controlada al tratarse de agua residual).

En cuanto a la calidad del agua regenerada, para el riego agrícola los constituyentes más importantes a monitorear son la salinidad, el sodio, el exceso de cloro residual y algunos componentes minoritarios, según el cultivo. Esto debido a estos constituyentes son mayores en las aguas regeneradas.

El riego con agua residual requiere de un intenso monitoreo tanto de los productos obtenidos, como de las aguas subterráneas. De igual manera, monitoreo tanto de la planta de tratamiento como del sistema de distribución para el riego.

IV. Medio Ambiente y Recreación

Los distintos usos recreativos y medioambientales del agua regenerada comprenden desde los estanques artificiales, riego de campos de golf, fuentes ornamentales, producción de nieve artificial, creación de humedales para servir de refugio a la vida animal o la creación de lagos en los que se pueda practicar la pesca y otras actividades.

Los objetivos más frecuentes de los proyectos de reutilización en este campo suelen dirigirse hacia las siguientes aplicaciones: creación o mejora de un hábitat húmedo, desarrollo de zonas recreativas y/o estéticas y mantenimiento de caudales en cauces naturales.

“Los humedales son objeto de una destrucción sistemática a causa de la evolución de otras actividades como la agricultura, la repoblación forestal y la urbanización. Sin embargo, estas zonas proporcionan muchos beneficios como la atenuación de las inundaciones, hábitats para las aves acuáticas y otros

animales, recarga de acuíferos, etc, y potencian los procesos naturales que mantienen la calidad de las aguas. Además, las zonas húmedas regulan el equilibrio del ciclo hidrológico al actuar sobre la tasa de evapotranspiración y en algunos casos, la recarga subterránea.” (IGME, 1995, pág. 15)

V. Recarga artificial de acuíferos.

Los principales fines de la recarga de acuíferos utilizando agua regenerada son:

- Establecer barreras contra la inmisión de agua salada en los acuíferos de zonas costeras.
- Utilizar el subsuelo como una matriz de tratamiento terciario del agua regenerada para su utilización futura.
- Reponer las reservas de los acuíferos, tanto de agua potable como de agua no potable.
- Emplear el subsuelo como un almacén de agua regenerada.
- Controlar o prevenir los fenómenos de subsidencia

Son numerosas las ventajas del empleo del agua depurada para la recarga de acuíferos. Con la infiltración y la percolación del agua regenerada se aprovecha la capacidad natural del subsuelo para la biodegradación y la filtración, suministrando de este modo un tratamiento in situ adicional. Sin embargo, la recarga implica una pérdida de la distinción entre agua regenerada y agua de acuíferos.

La recarga de acuíferos se puede considerar como un mecanismo de almacenamiento y transmisión subterránea del agua regenerada. Representa una ventaja pues no siempre se dispone de lugares propicios para el almacenamiento del agua en superficie que sean económica y ambientalmente aceptables. La recarga de acuíferos reduce la necesidad de almacenamiento

superficial, evitando las pérdidas por evaporación, el crecimiento de algas e insectos y la producción de malos olores. También los acuíferos cumplen la misión de sistema natural de distribución, y se reduce la inversión en sistemas de transmisión superficiales.

VI. Adaptación a recursos de agua potable.

Ésta es la aplicación de la reutilización de aguas regeneradas menos desarrollada hasta la fecha, debido al mayor número de controles que requiere, pero sobre todo, a la rigurosidad de los criterios de aceptación.

“Habitualmente se distingue entre reutilización indirecta y reutilización directa. La reutilización potable indirecta consiste en descargar el agua tratada en un cauce y captarla más tarde, aguas abajo (o bien en un punto de gradiente hidráulico menor, si se ha evacuado en un acuífero), con el fin de ser incorporada a recursos potables. La reutilización potable directa consiste en incluir directamente en el sistema de abastecimiento el efluente obtenido en la planta de tratamiento, que se supone de calidad adecuada.” (IGME, 1995, pág. 17)

Hasta ahora, la reutilización directa para agua potable de efluentes de instalaciones de tratamiento es mínima en el mundo. Ello es debido fundamentalmente a la oposición del público, que muestra mejor disposición hacia otros usos del agua regenerada y que, en el caso de ser necesario su empleo para abastecimiento humano, prefiere los métodos de reutilización indirecta. Si para algunas personas tomar agua del grifo puede resultar desagradable, hay que imaginar lo que significa para ellas consumir aguas negras recicladas.

“Quizá haya que hacer popular el consumo del agua reciclada a través de medios de comunicación o de la misma Estación Espacial Internacional (ISS, por sus siglas en inglés) de la NASA, y es que fue en 2009

cuando los tres astronautas de esta misión hicieron lo que ningún otro astronauta: dijeron ¡salud! con un elixir preparado con su propio orín y sudor, que se reciclaron previamente con un avanzado sistema que costó alrededor de 180 millones de Euros. El dispositivo filtra el vapor que resulta de hervir la humedad condensada junto con la orina y el sudor de la tripulación; podría servir, según los cálculos de la directora del laboratorio de la estación, Marybeth Edeen, para fabricar casi 23 litros en tan solo seis horas.” (Vargas Cerón, 2010, pág. 1)

Estados Unidos, el Reino Unido y Singapur son de los principales consumidores de agua regenerada. Por mencionar casos en Windhoek, capital de Namibia, un país agobiado por la aridez, ha funcionado con éxito esta técnica; asimismo, en Singapur el agua reciclada se utiliza desde 2003 y es conocida como NEWater, a la fecha es ampliamente utilizada en la industria e indirectamente para el consumo humano. Hoy en día representa 1 por ciento del consumo de agua potable. (Vargas Cerón, 2010)

Según la empresa francesa Suez Energy, la razón primordial para el reciclaje de aguas residuales tratadas es su precio. Producir en un centro de depuración un metro cúbico de agua potable cuesta 10 céntimos de euro a partir de una capa freática, 70 céntimos a partir del agua del mar y 45 céntimos a partir de agua ya utilizada. (Vargas Cerón, 2010)

Legislación y Políticas Públicas

El órgano regulador de todos aquellos aspectos relacionados con el agua en México es la Comisión Nacional del Agua (CNA), quien no siempre ha sido conocida de esta manera. En 1926 se crea la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), quien a su vez en 1947 desaparece para formar la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), la cual manejaba el recurso con una visión integral. En 1976 se crea la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH),

creándose en 1989 la Comisión Nacional del Agua como órgano desconcentrado de esta Secretaría. Finalmente el 28 de Diciembre de 1994, se crea la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), de la cual depende como órgano desconcentrado la comisión Nacional del Agua. (Volantin Robles, Calvillo Rodríguez, & Gomez Fuster)

La normatividad que regula las aguas de nuestro país se basa en los siguientes ordenamientos:

- Ley de Aguas Nacionales
- Normas Oficiales Mexicanas
- Ley Federal de Derechos

La Ley de Aguas Nacionales y su reglamento son el fundamento jurídico que argumenta las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la CNA. Las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) del Sector Agua relacionadas con la calidad de los productos, equipos, maquinarias, materiales y servicios que se utilizan en la construcción de infraestructura hidráulica o en el manejo, conducción y distribución de agua en todos sus usos, definen la situación actual del uso eficiente del agua, la preservación de su calidad y la protección del ser humano. Las Normas Oficiales Mexicanas que regulan el reúso del agua en México se muestran en la tabla número uno.

Tabla 1.- Normas Oficiales Mexicanas Aplicables al Reúso de Aguas Residuales Tratadas

<p>NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (Aclaración 30 Abril 1997). Publicada el 6 de Enero 1997.</p>	<p>NOM-002-ECOL-1996.-Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada el 3 de Junio 1998.</p>	<p>NOM-003-ECOL-1996.- Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Publicada el 21 de Septiembre 1998.</p>	<p>NOM-004-SEMARNAT-2002.- Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminación para su aprovechamiento y disposición final. Publicada en 2002.</p>
---	---	--	---

Fuente: (Legislatura, 2006)

La tabla dos muestra los proyectos de normas oficiales mexicanas aun no publicados aplicables al reúso de aguas residuales tratadas.

Tabla 2.-Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas aplicables al Reúso de Aguas Residuales Tratadas

<p>PROY-NOM-014-CNA-2003.- Requisitos para la Recarga Artificial de Acuíferos.</p>	<p>PROY-NOM-015-CONAGUA-2007.- Infiltración artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras y del Agua.</p>
---	--

Fuente: (Legislatura, 2006)

Como señalan Ruiz y Cadenas (2005), las políticas públicas se pueden entender como el ámbito privilegiado de realización del “pacto” entre Estado y sociedad. Un nuevo papel del Estado, en el sentido de hacerlo más ágil y organizador. Aquí podemos rescatar el sentido participación entre estos dos actores, pero el objetivo final de beneficio a la sociedad es como lo veremos más adelante un punto que muchas veces queda olvidado, de aquí el fracaso de

muchas políticas públicas. Cabe resaltar que no todo es asunto público y de lo público no todo se convierte en política y, actualmente asuntos públicos están siendo atendidos solamente y únicamente por el gobierno.

En muchos países el agua residual urbana es utilizada para riego agrícola. El uso de agua residual para riego es una forma de deshacerse de este efluente con varias ventajas. El agua residual contiene muchos nutrientes, lo que hace que aumente el rendimiento de los cultivos sin necesidad o, con menor requerimiento de utilizar fertilizantes. Además, el agua residual urbana es una fuente alternativa de agua en zonas áridas y semi-áridas, donde el agua es un elemento escaso.

El tratamiento y la reutilización ambientalmente sostenible del agua residual es un continuo reto. Los aspectos relacionados con la salud humana y el medio ambiente son los más restrictivos a la hora de limitar estas prácticas, sobre todo si se tiene en cuenta que, en algunos casos, el agua residual no está lo suficientemente tratada debido al hecho de que el coste de construcción de sistemas de tratamiento eficientes es muy elevado, especialmente para pequeñas y medianas comunidades.

En México, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales, la contaminación del suelo y agua ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. De 1960 a 2008, la población en México aumentó de 34.4 a 106.1 millones de habitantes (CONAPO, 1999), impactando con una carga mayor sobre la infraestructura existente y un aumento en la producción de residuos domésticos. La tendencia de aumento en la población seguirá con la consecuente generación de aguas residuales.

Según el inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, elaborado por la SEMARNAT

(2008), a finales de 2008 el registro de plantas en operación había incrementado a 1,833 instalaciones, con una capacidad instalada de 113 m³/s y caudal tratado de 83.64 m³/s, que significa el 6.35% en cuanto a capacidad instalada y de 5.48% en caudal tratado, lo que permitió alcanzar una cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales del 40.2% en el ejercicio. Del total de plantas en operación, 27 se encuentran en el estado de Baja California, de las cuales 8 se ubican en el municipio de Mexicali.

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. Dichos esfuerzos requieren inversiones sustanciales de capital. La preocupación por las descargas de las aguas residuales y sus efectos al medio ambiente ha dado lugar a la promulgación de leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley de Aguas Nacionales, cuyo objetivo es prevenir y controlar la contaminación del agua y proteger los recursos hidráulicos.

Desde hace décadas en nuestro país se viene trabajando de manera constante en materia de tratamiento de aguas residuales. Este apoyo se ha dado mediante la implementación y puesta en marcha de programas (ver tabla tres) que proporcionan apoyo técnico y económico a gobiernos municipales y estatales con el propósito de que con los recursos financieros que ellos igualmente aporten se construyan plantas de tratamiento de aguas residuales y se encarguen de su operación.

Tabla 3.- Programas Mexicanos para el Fomento y Promoción del Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales.

Programa de Agua Potable y Alcantarillado en Zonas Urbanas (APAZU).

<http://tiny.cc/wx7df>

Fecha de Consulta: Octubre 2010.

Programa de Devolución de Derechos (PRODDER).

<http://tiny.cc/m6hgd>

Fecha de Consulta: Octubre 2010.

Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR).

<http://tiny.cc/61zc9>

Fecha de Consulta: Octubre 2010.

Programa de Modernización de organismos operadores (PROMAGUA).

<http://www.fonadin.gob.mx/wb/fni/promagua>

Fecha de Consulta: Octubre 2010.

Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS).

<http://tiny.cc/0d4wp>

Fecha de Consulta: Octubre 2010.

Fuente: Elaboración Propia.

Aspectos Técnicos

Como se vio anteriormente, el proceso de tratamiento necesario para que el agua residual pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso agua regenerada. De acuerdo a su definición etimológica, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada. (Mujeriego Saahuquillo, 2007)

¿Por qué regenerar el agua? Los recursos hídricos del planeta son limitados y geográficamente la disponibilidad de estos no está repartida equitativamente. Únicamente, el 1% del total del agua existente es agua dulce

disponible y por tanto susceptible de ser empleada para el consumo humano. (Remosa, sf)

Aun cuando a simple vista el agua parece abundar, puesto que el usuario abre la llave y el agua aparece como por arte de magia, diversos factores como la superpoblación, el consumo industrial, la urbanización desenfrenada, la agricultura insostenible y el cambio climático, hacen pensar que la situación puede empeorar a tal grado de provocar graves crisis ante la escasez del agua para el consumo.

El manejo sustentable del agua es una meta importante y un elemento clave en el desarrollo urbano sustentable. El uso de aguas regeneradas debe ser considerado en el contexto del desarrollo y administración específico del ciclo del agua. Una estrategia de diseño urbano sensible al agua (WSUD, por sus siglas en inglés) es el punto de partida para la planeación de la administración del agua para el desarrollo.

Para alcanzar el desarrollo sustentable del medio ambiente, es fundamental que los recursos naturales se utilicen de forma inteligente y se protejan los ecosistemas complejos de que depende nuestra supervivencia. La sustentabilidad no podrá lograrse con los modelos actuales de consumo y el uso desmesurado de los recursos. Una buena solución ante esta problemática es el uso de sistemas para la regeneración de aguas. Los beneficios obtenidos con estos sistemas son múltiples, pero sobretodo, nos permite alargar el ciclo de vida de un recurso limitado y progresivamente escaso como lo es el agua.

Existen varios tipos de tratamiento de aguas residuales. De acuerdo al tipo de tratamiento es el reúso que puede dársele al agua residual. Las tablas cuatro y cinco describen los distintos niveles de tratamiento y el aprovechamiento del agua regenerada de acuerdo a este.

La factibilidad de aplicar o no las distintas tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales depende de varios criterios, como:

- Destino final del agua regenerada y su demanda.
- Calidad y cantidad del agua.
- Espacio disponible para el tratamiento y almacenamiento del agua.
- Consideraciones sociales.
- Consideraciones económicas.
- Condiciones climáticas.
- Operación y mantenimiento, entre otras.

Tabla 4.- Niveles de tratamiento de Aguas Residuales.

<p>Preliminar Remoción de los constituyentes del agua residual, como son pedazos de madera, tela, partículas flotantes, tierra y grasas que puedan causar problemas de mantenimiento u operacionales.</p>
<p>Primario Remoción de una porción de las partículas suspendidas y materia orgánica</p>
<p>Primario Avanzado Mayor remoción de partículas suspendidas y materia orgánica- típicamente por medio de adición de químicos o filtración.</p>
<p>Secundario Remoción de la materia orgánica biodegradable (en suspensión o solución) y sólidos suspendidos. Usualmente, el tratamiento secundario también incluye un proceso de desinfección.</p> <p>Secundario con remoción de nutrientes Remoción de la materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno, fosforo o ambos).</p>
<p>Terciario Remoción de los materiales disueltos y suspendidos posterior al tratamiento biológico normal.</p>
<p>Fuente (Holt & James, 2006)</p>

El suministro de agua regenerada está determinado principalmente por la capacidad productiva de la planta de tratamiento. Si no hay restricciones en el agua regenerada (afluente), su suministro puede ser considerado constante y garantizado. La demanda para esta agua depende de su calidad y de la existencia de usuarios potenciales, o en otras palabras, aquellos que necesitan y aceptan su consumo. La demanda potencial depende de si existen o no alternativas de suministro de agua, así como de su precio. Esto nos lleva a un análisis de disponibilidad de agua en términos de cantidad y calidad requerida por los usuarios en cada área geográfica. (Hernández, y otros, 2005)

Tabla 5.- Alternativas de aprovechamiento de aguas residuales tratadas de acuerdo a su nivel de tratamiento

Preliminar	N/A
Primario	· Agrícola (productos que se consuman cocidos)
Primario Avanzado	· Agrícola (productos que se consuman cocidos)
Secundario	· Agrícola (productos que se consuman cocidos) · Recarga por infiltración superficial · Municipal Urbano · Industrial Enfriamiento
Secundario con remoción de nutrientes	· Agrícola (productos que se consuman cocidos) · Recarga por infiltración superficial · Municipal Urbano · Industrial Enfriamiento
Terciario	· Industrial (enfriamiento calderas, textilera, cafetalera, celulosa y papel, azucarera). · Recarga por inyección directa. · Recreativo sin contacto directo · Acuicultura
Avanzado	· Recarga por inyección directa · Recreativo con contacto directo · Potable

Fuente: (Osés Pérez & Marín, 2010)

La guía para el reúso del agua de la EPA (EPA & Camp Dresser & McKee, 1992) indica que algunos de los detalles técnicos que deben cubrirse al implementar un sistema de regeneración del agua son los siguientes:

- Identificación y caracterización de la demanda potencial para agua regenerada.
- Identificación y caracterización de las fuentes existentes de agua regenerada para determinar su potencial de reúso.
- Requerimientos de tratamiento para producir agua regenerada segura y confiable, de acuerdo al uso que pretende dársele.
- Instalaciones de almacenamiento requeridas para balancear la fluctuación en la demanda.
- Instalaciones complementarias requeridas para operar el sistema de agua regenerada.
- Impactos ambientales potenciales resultantes de la implementación del reúso.
- Identificación de los conocimientos, habilidades y capacidades necesarias para operar y mantener el sistema propuesto.

Aspectos Socioculturales

Dentro de los aspectos sociales de uso de aguas regeneradas se encuentran la percepción social hacia el reúso y la cultura del reciclaje de las comunidades.

Un nuevo estudio ha analizado la percepción pública del uso de aguas regeneradas en Barcelona, lugar en donde el uso de aguas residuales tratadas ha sido mayor en los últimos años debido a la falta de agua. Varios factores, incluyendo los riesgos a la salud percibidos, buen funcionamiento del sistema de tratamiento y costos de mantenimiento parecen ser los factores que más influyen la aceptación de las tecnologías por la sociedad.

A grandes rasgos, Domènech y Sauri (2010) describen que los usuarios no estaban muy consternados acerca de los riesgos a la salud asociados con el uso de agua regenerada. La mayoría de los usuarios se sentían motivados a reusar el agua, pero la aceptación decayó una vez que experimentaron el sistema, y más de un tercio se sintió insatisfecho con su funcionamiento. Los factores con mayor peso para el rechazo del sistema fueron el mal olor y la apariencia del agua, malfuncionamientos del sistema y los costos de mantenimiento. Sin embargo, varios usuarios apreciaron el beneficio de ahorrar agua potable.

El perfil de la muestra era jóvenes, con un elevado grado de educación y de nivel medio alto. La mayoría de ellos se describió como “ambientalmente responsables”, que puede no ser el caso en el resto de la población.

En el estudio realizado por Bixio (2005) y otros acerca del reúso del agua en regiones de Europa, Israel y Australia, se identificó que a excepción del reúso en instituciones e industrias, la aceptación pública es un factor determinante para la sustentabilidad financiera del proyecto. Varios proyectos no alcanzaron el financiamiento necesario ya que se vieron demorados o abandonados debido a que el usuario final no aceptaba el uso de agua regenerada. La realidad es que a los ojos de gran parte de funcionarios y sociedad en general, el agua regenerada sigue siendo agua residual.

Por otro lado, sin ser de conocimiento público, en varias comunidades urbanas y semiurbanas de Europa, el agua superficial y subterránea cuenta aún con bacteria que la hace de peor calidad que el agua residual con tratamiento secundario. Los ciclos de agua de varias regiones urbanas reúsan sin planear de manera indirecta e incontrolada el agua residual de otras comunidades. Pero este dato puede resultar más contraproducente que beneficioso al momento de querer convencer a la comunidad al reúso de aguas residuales tratadas.

La cultura del reciclaje es otro aspecto social importante para el reúso de las aguas residuales tratadas. No importa que tanta agua se trate y que tanta tecnología se utilice para hacerlo, si la gente no conoce el concepto, confía en la calidad del agua, no existirá una demanda, y por lo tanto el mercado caerá. En estos tiempos donde el agua escasea cada vez más día con día, es difícil justificar la actitud “usar una vez y desechar” que las sociedades urbanas habían optado hasta hoy. Es necesario implementar programas educativos de reciclaje de agua, en donde los organismos a cargo del saneamiento y suministro de aguas residuales tratadas demuestren su trabajo y generen confianza en el usuario. La promoción y mercadotecnia por parte de los organismos regeneradores es crucial para crear una nueva cultura del agua.

Aspectos Ambientales

Varios países europeos dependen del agua regenerada para proteger el medio ambiente y asegurar el suministro de agua para sus distintos servicios. La regeneración y reúso del agua a través de cuerpos superficiales y subterráneos de agua es una práctica común y la salud pública se encuentra protegida gracias a los estándares del agua. El uso del agua regenerada para aplicaciones donde no es necesario potabilizarla, o incluso la sustitución de la potabilización, ha demostrado ser una fuente de agua interminable y además una de las soluciones contra la falta de agua más efectivas en regiones donde la falta de agua es un problema alarmante. El beneficio puede ser sustancial, ya que de un 30% a 70% de las abstracciones de agua para potabilización son destinadas para suministro público. (Durham, Angelakis, Wintgens, Thoeye, & Sala, 2005)

La conservación del agua, el reúso y el reciclaje, según Anderson, pueden incrementar enormemente los beneficios obtenidos de los limitados cuerpos de agua dulce. Sin mencionar que muchos de estos cuerpos de agua no cumplen con las normas de calidad de agua, debido a las altas descargas de contaminantes en los cuerpos de agua. Puede observarse con un simple modelo

que la calidad del agua aguas abajo es una función no solo de la cantidad de contaminantes descargados, sino también de la cantidad de agua dulce extraída del cuerpo de agua. Puede demostrarse que el uso de aguas regeneradas reduce la cantidad de aguas dulces desviadas y reduce la cantidad de contaminantes que se descargan, y por lo tanto representa un mejoramiento en la calidad del agua aguas abajo. (Anderson J. , 2003)

Como menciona el mismo autor, el agua reciclada es un recurso de sumo valor. En vez de ser tirada, propiamente tratada, el agua puede ser reciclada (utilizada por segunda vez) para reducir la demanda de agua dulce de alta calidad y mejorar la calidad ambiental del agua. El reciclaje del agua incrementa la disponibilidad del agua y permite obtener más beneficios para el ser humano con la utilización de menos recursos. Entonces, la regeneración de aguas residuales puede contribuir sustancialmente a cumplir con las necesidades de agua del mundo, impactando en menor cantidad la existencia del recurso.

Implicaciones Económicas

Alrededor del mundo, una considerable cantidad de trabajos se realizan para evaluar proyectos de reciclaje de agua en términos de su economía y sustentabilidad. Un ejemplo es la Corporación del Agua de Sydney con su trabajo Estrategia para Reciclaje del Agua (Water Recycling Strategy), que evalúa proyectos de reciclaje de agua potenciales en términos de costos anuales por m³ y el impacto de gases de efecto invernadero expresados en uso de energía en kW-h/m³. (Anderson J. , 2003) Este análisis sugiere lo siguiente:

- a) Los grandes proyectos de reúso industrial, así como los proyectos de landscaping urbano localizados cerca de las plantas de tratamiento son más costosos que los proyectos de reúso residencial.

- b) El reúso indirecto suplementario de los recursos de agua sería más efectivo que cualquier opción de reúso para agua no potable, en cuanto a costo, pero puede tener más impacto en los gases de efecto invernadero.
- c) Los sistemas de tratamiento y reúso de agua descentralizados pueden ameritar exanimación posterior.
- d) La implementación de medidas de conservación de agua de bajo costo pueden proveer una ventana de oportunidad de 10 a 20 años, en los que pueden tomarse decisiones acerca de las aplicaciones del agua reciclada y las tecnologías a implementar.

En el análisis elaborado por Bixio (2005) para determinar donde se encuentra el mundo hoy en día con respecto a la regeneración de aguas residuales, se identificó que la mayoría de los proyectos de regeneración de aguas residuales fueron financiados atribuyendo beneficios. Externalidades, tales como la escasez de agua y el costo marginal de nuevas fuentes sustentables de agua, raramente fueron tomadas en cuenta en los proyectos analizados. Igualmente, la carga financiera, social y ambiental que representa la disposición del efluente al medio ambiente raramente fue considerada en los análisis económicos llevados a cabo para estos proyectos. (Bixio, y otros, 2005)

Igualmente el análisis detectó que la mayoría de los proyectos se vieron beneficiados con incentivos financieros, especialmente con recursos para cubrir parte de la inversión inicial. Los beneficios del suministro de agua solos son insuficientes para cargar con los costos de inversión del mejoramiento del efluente, pues las distorsiones del mercado del servicio de suministro de agua aún son significativas. El precio que los usuarios pagan por el agua convencional raramente se basa en los principios de recuperación total de la inversión, y en algunos casos es políticamente imposible. La regeneración de aguas residuales permite corregir estas distorsiones, mientras provee una alternativa más barata para las aplicaciones que no requieren agua potable. La implementación de

incentivos económicos para la comunidad pudiera ser un transformador de la cultura del reciclaje. Por ejemplo, en Costa Brava se ha determinado la exención del pago de impuestos a aquellas personas que utilicen agua regenerada. De igual manera, en algunas partes del mundo se cobra más caro (desincentivo) por descargar aguas con tratamiento secundario a los cuerpos de agua, exhortando a la conservación y reciclaje del agua.

¿Pero cuál es el precio adecuado para el agua regenerada? Los costos del reúso incluyen tanto costos internos de producción y distribución del agua regenerada, como costos externos de naturaleza social y ambiental. Solamente las primeras dos son tomadas en consideración en los proyectos de regeneración y reúso de aguas residuales. Los costos internos consisten en:

- Costos de inversión: tierra, obra civil, maquinaria y equipo, instalaciones y obras de conexión.
- Costos de financiamiento, que resultan de financiar la inversión.
- Costos de operación y mantenimiento, divididos en fijos y variables. Los primeros son incluidos independientemente del volumen de agua regenerada

Algunos autores creen que el precio del agua regenerada manejado por distintas compañías se basa en un porcentaje del precio del agua potable. Mientras esta estrategia puede ayudar a exhortar el uso de este tipo de agua, existe en general un acuerdo de que un proyecto de regeneración de agua debe aspirar a recuperar el total de sus costos, incluyendo siempre los sistemas de distribución. En otras palabras, Bixio y el resto de los autores opinan que el precio del agua debe por lo menos basarse en costos, incluyendo el valor mismo del agua, su efecto en el medio ambiente y su mismo costo de oportunidad.

Beneficios del Uso de Aguas Regeneradas

Los beneficios de regenerar el agua residual han sido estudiados extensivamente por especialistas y generalmente resultan en los siguientes (Wintgens & Hochstrat, 2006):

- Suministro de agua adicional a prueba de sequía.
- Reducción en la descarga de residuos.
- Reducción de la obtención de agua de los sistemas naturales.
- Aumento del agua para suministro local.
- Evitar la potabilización de agua para actividades que no requieren dicha calidad de agua.

Los beneficios económicos resultados del reúso del agua pueden significar ahorro y optimización de costos o convertir una actividad en negocio. La extensión y tipo de beneficio económico depende de la actividad realizada y del usuario particular.

La tabla 6 muestra los principales beneficios económicos con respecto al uso de agua regenerada identificados por diversos autores.

Beneficios Sociales

Según el reporte de AquaRec (Salgot & Huertas, 2006), en tiempos de gran demanda de agua, el principal beneficio social del reúso del agua es cumplir con la demanda del recurso. En regiones con estrés de agua, el beneficio más importante del reúso es dejar el agua potable libre para consumo y utilizar el agua residual tratada para los usos que requieran menos calidad de agua.

Cuando el agua se reúsa en el riego de áreas verdes, campos de golf, áreas recreativas y en el mejoramiento de la imagen urbana y el entorno, las

regiones se pueden beneficiar con aumento en la actividad turística debido a la oferta de lugares de esparcimiento que ofrecen.

El aumento de empleo pudiera resultar un beneficio social en ciertas comunidades. El tratamiento y reúso de agua requiere mano de obra para supervisión y mantenimiento, lo cual puede generar oferta de trabajo.

Tabla 6.- Beneficios Económicos del Uso de Agua Regenerada

Agricultura	(Anderson J. , 2003), (Wintgens & Hochstrat, 2006)	Reducción de costos de desviación.
		Una fuente de agua regenerada a prueba de sequías.
		Incremento en la producción.
	(Salgot & Huertas, 2006), (Wintgens & Hochstrat, 2006)	Nutrientes para el campo (en el agua regenerada).
		Incremento en la producción.
		Reducción del uso de fertilizantes sintéticos.
Suministro de Agua Potable Urbano	(Anderson J. , 2003) y (Salgot & Huertas, 2006)	Nutrientes para el campo (en el agua regenerada).
		Mejoramiento del suelo.
Agua Residual Urbana	(Anderson J. , 2003) y (Salgot & Huertas, 2006)	Ahorro en costos de infraestructura para suministro, distribución y tratamiento de agua.
		Ahorro en costos de operación y mantenimiento, incluyendo energía para bombeo y químicos para tratamiento.
Economía	(Salgot & Huertas, 2006), (Wintgens & Hochstrat, 2006)	Ahorro en el bombeo de las estaciones de descarga y tuberías.
		Ahorro en el costo del tratamiento y remoción de nutrientes requeridos para la descarga a cuerpos de agua.
		Mayor eficiencia económica de las inversiones para la disposición de aguas residuales, irrigación y otros usos.
		Conservación de fuentes naturales de agua fresca.
Medio Ambiente Natural	(Anderson J. , 2003), (Wintgens & Hochstrat, 2006)	Recarga de acuíferos por medio de infiltración de agua (tratamiento natural).
		Incremento y seguridad de la disponibilidad del recurso.
		Mas disponibilidad de agua.
		Mejor calidad del agua en cuerpos naturales.
	(Salgot & Huertas, 2006)	Reducción en la descarga de contaminantes a los cuerpos de agua.
		Menor impacto en la vida acuática.
		Mejoramiento de la calidad del agua en cuerpos de agua para recreación.
		Influencia benéfica de un pequeño ciclo del agua natural.
		Reducción de impacto al medio ambiente (p.e. eutrofización, requerimientos mínimos de descargas.)

Fuente: Elaboración Propia

Los beneficios ambientales del reúso del agua son en su mayoría intangibles y carecen de procesos de evaluación. Los beneficios positivos más prominentes son:

- Reducción de obtención de agua para potabilización de los sistemas naturales.
- Reducción en la descarga de residuos.

Riesgos del Uso de Aguas Regeneradas

La irrigación de sembradíos con agua residual representa varias amenazas al medio ambiente, contaminándolo con nutrientes, metales pesados y sales. Las cantidades elevadas de nitrato en el agua pueden aumentar la contaminación del agua subterránea. Los riesgos pueden reducirse si se encuentran actividades propias para el tipo de efluente producido. Otro impacto invisible del reúso del agua es la producción de emisiones de gases de efecto invernadero. Este aspecto no es único para el reúso de agua.

Existen normas, como la NOM-SSA-127 (SSA, 1994) en México, que establecen la calidad del agua potable para consumo humano. El agua residual tratada no requiere cumplir con estos requerimientos y cuenta con sus propios estándares de calidad, los cuales consideran el contacto directo e indirecto con el ser humano. La EPA, en el 2004 reportó que hasta la fecha no ha habido casos confirmados de enfermedades infecciosas resultado del uso de las aguas residuales debidamente tratadas. (Anderson P. , 2008)

CAPÍTULO II METODOLOGIA

Cómo planear el Reúso del Agua

Actualmente son varios los países que hoy en día reúsan el agua residual tratada. Algunos de estos países, según estudios realizados, son Estados Unidos, Europa, Japón, Sudáfrica, Australia, entre otros. Generando un total de 7.1 km³/año de agua regenerada alrededor del mundo, que representa solamente el 0.18% de la demanda de agua mundial. Lo que significa que solo se tratan el 5% de las aguas residuales generadas, aun cuando existen más de 2000 plantas de tratamiento alrededor del mundo. (Osés Pérez & Marín, 2010)

A pesar de que las cifras indican que la planeación de la regeneración de las aguas residuales esta en segundo plano en las agendas políticas y económicas, existen documentos valiosos que detallan y presentan de una manera clara y concisa la planeación integral de la regeneración de aguas residuales así como su uso. En muchas ocasiones se ha estipulado que el agua sucia debe ser regenerada y utilizada donde sea apropiado, pero no hay una definición de “lo apropiado”. Estos documentos tratan de hacerlo, definiendo que aplicaciones y calidades son necesarias, proponiendo mejores prácticas. (Durham, Angelakis, Wintgens, Thoeye, & Sala, 2005) Los documentos revisados para esta investigación fueron aquellos que se encuentran publicados en libros y algunos otros que gracias al internet pueden ser consultados.

La Organización Mundial de la Salud y la Organización de Agricultura y Alimentación, como parte de la Organización de las Naciones Unidas (2011), realizan estudios y han emitido en algunas ocasiones documentos que hablan acerca de las distintas estrategias para el reúso del agua. En algunos países, como en Colombia, se enfocan en la prevención, es decir, en el uso eficiente del recurso. En 2002, durante del gobierno del presidente Álvaro Uribe Vélez, se publicó a través de la Dirección General Ambiental Sectorial del Ministerio del Medio Ambiente y el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales la “Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua”. En esta guía se

detallan estrategias y buenas prácticas para el uso eficiente del recurso, además cuenta con un manual técnico para su implementación. Sin embargo, este documento no trata el tema de la regeneración y el reúso del agua. (Guillermo Montaña, 2002)

De igual manera, en Colombia se publicó la Guía para la implementación del reúso del agua en Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, S/A), en donde se muestran las diferentes estrategias urbanas, institucionales, sociales, medio ambientales y económicas para la implementación del reúso del agua en ese país. Enfocándose más al reúso agrícola.

En países de la Región Este del Mediterráneo se han realizado estudios como el Compendium of Standards for Wastewater Reuse in the Eastern Mediterranean Region (2006), en donde se provee al lector una reseña de los estándares de calidad para el reúso del agua. Aun cuando el documento no habla de planeación del reúso, ofrece un panorama más amplio de las leyes y reglamentos aplicables para el reúso en países como Bahrain, Egipto, Iraq, Jordan, Kuwait, Líbano, Oman, Pakistan, Palestina, Arabia Saudita, Tunista y Yemen. (WHO, 2006)

En Londres entre otros estudios, el WELL, Water and Environmental Health at London and Loughborough realizó un estudio que resultó en la Guía para reúso de agua residual en agricultura y acuicultura. En este estudio se realiza una revisión de las distintas guías, leyes y normas del reúso en distintos países del mundo, incluido México. (Blumenthal, Peasey, Ruiz-Palacios, & D. Mara, 2000)

Por su parte, Japón tiene una larga historia en cuanto a planeación para la regeneración y uso de aguas regeneradas. La primera data de 1951, cuando un efluente del tratamiento secundario de la planta de tratamiento de aguas

residuales de Mikawashima en Tokyo fue usado experimentalmente para manufactura de papel, en una fábrica de papel cercana al lugar. Hoy en día, Japón ha logrado desarrollar excelentes políticas y programas para la regeneración y reúso de las aguas residuales, para promover el control de la contaminación del agua, la protección ambiental y las amenidades para el medio urbano. Los proyectos de reúso de agua se ven favorecidos ya que estimulan la inversión privada. (Vigneswaran & Sundaravadivel, sf) El Departamento de Alcantarillado y Administración de Aguas Residuales del Ministry of Land,, Infrastructure and Transport de Japón publicó en 2005 la Guía para el Reúso del Agua Tratada. Esta guía toma en consideración el reúso de agua para excusados, riego por aspersión, landscape y usos recreativos. El documento no profundiza en cuanto a cómo planear el sistema ni que usos dar al agua. (Tajim, Yoshizawa, Sakurai, & Minamiyama, sf)

En México existe el Programa Nacional Hídrico, que sexenio con sexenio es, o debería ser actualizado. Este programa, publicado por la Comisión Nacional del Agua, marca la pauta para la planeación del uso, distribución y reúso del recurso. En el Programa Nacional Hídrico 2007-2012, el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, el C. Felipe Calderón Hinojosa, indica que uno de los objetivos de este programa es “que las aguas residuales se traten y se reúsen”. (SEMARNAT, CONAGUA, 2007) Este programa es un documento de 163 hojas que contiene información escrita y grafica que pudiera ser considerado un plan para abrir la ventana del reúso de agua en México, mas no una guía para la planeación integral para el reúso del agua en nuestro país. Si existiera algún tipo de planeación integral para el reúso del agua en México, por el funcionamiento de nuestro gobierno y sus gobernantes, así como de la sociedad, probablemente se daría a nivel municipal, con fondos independientes o inversión privada.

En Australia también se trabaja en la elaboración de los lineamientos para el reúso del agua. Los principios han sido aceptados y han sido adaptados en los Lineamientos Australianos para Agua Potable. (Salgot & Huertas, 2006)

Estados Unidos de América es el país que cuenta con más documentos y guías acerca del reúso de aguas residuales tratadas. Durante esta investigación se encontraron documentos a nivel estatal, municipal y de empresas privadas, pero todos convergían en uno solo: los lineamientos para el reúso de agua de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés.

La EPA es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: aire, agua y suelo. En septiembre de 2004 la EPA publica esta guía para el reúso del agua donde establece de manera sencilla y clara los pasos para la planeación del reúso de aguas residuales tratadas basándose en la demanda de agua no potable.

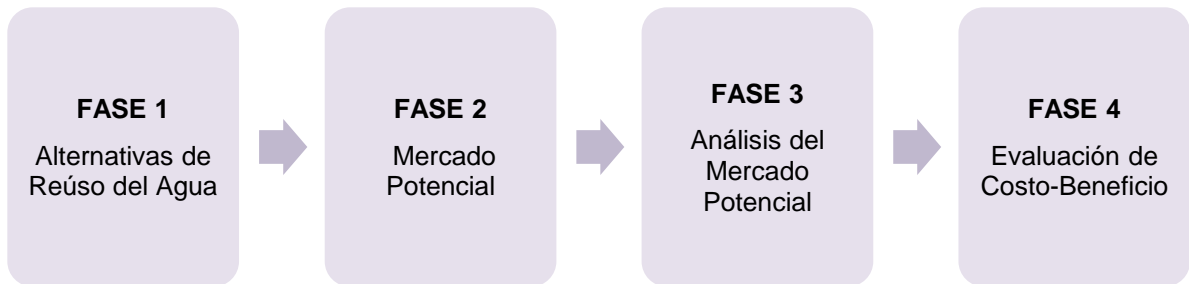
El documento Lineamientos para el Reúso del Agua es una actualización de los Lineamientos para el Reúso del Agua elaborados para la EPA por Camp Dresser & McKee Inc. (CMD) y publicada por la EPA en 1992 (e inicialmente en 1980). En mayo de 2002, la EPA contrato a CMD a través de un acuerdo de investigación y desarrollo cooperativo (CRADA, por sus siglas en inglés) para actualizar los lineamientos de Reúso del Agua de la EPA/USAID. El objetivo principal de estos lineamientos es presentar y sintetizar las guías existentes de reúso del agua, con información sustentada, para el beneficio de las agencias de servicios y reguladoras, particularmente en los Estados Unidos de América. La guía cubre el reúso del agua para usos no potables en el medio urbano, la industria y el reúso en la agricultura, así como el reúso indirecto para el aumento del agua potable. El uso directo de agua potable también se ve cubierto, aun cuando en EUA no se practica. (EPA & Camp Dresser & McKee, 1992)

Igual como se hizo en 1992, un comité formado por expertos en temas específicos y relacionados con la regeneración de aguas residuales a nivel nacional e internacional, participo en la redacción de nuevos textos, actualización de casos de estudio, y revisión del documento en general. Sin embargo, a diferencia de 1992, la versión actual incluye el trabajo de más de 75 autores colaboradores, y 50 revisiones adicionales por expertos en la materia.

Uno de los objetivos de los lineamientos de la EPA es determinar un acercamiento sistemático para la planeación del reúso de agua, con el fin de que los planificadores puedan determinar la factibilidad del reúso de aguas residuales tratadas en su localidad. El acercamiento propuesto por la EPA para la planeación del reúso de aguas residuales tratadas en ciudades consta de 3 pasos: investigación preliminar, análisis del mercado potencial y la evaluación detallada de los mercados seleccionados, considerando en todas las etapas el involucramiento de la sociedad.

La metodología seguida para realizar esta investigación, mostrada en la figura tres, surge de adaptar y combinar los métodos establecidos en la guía de la EPA y la guía para elaborar y presentar los análisis costo y beneficio de proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales de la Unidad de Inversiones de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público en México. (SHCP, 2008)

Figura 3.- Metodología de la Investigación



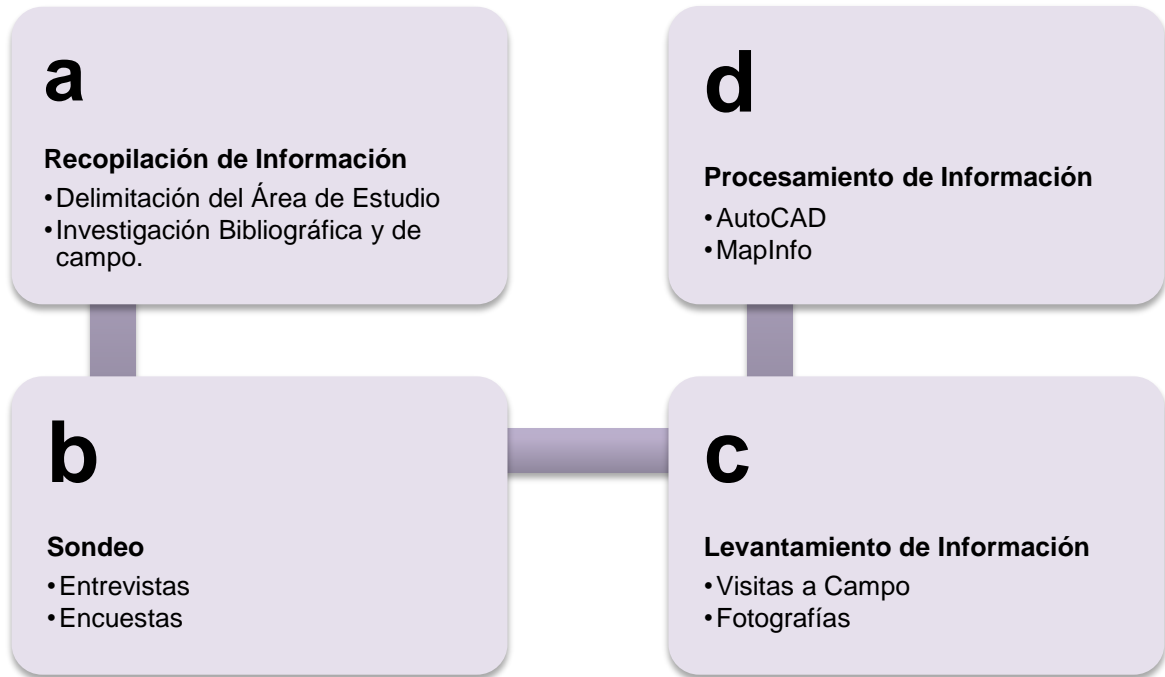
Fuente: (EPA & Camp Dresser & McKee, Guidelines for Water Reuse, 1992)

Fase 1. Alternativas de Reúso del Agua

Durante esta fase se pretendió encontrar datos que proporcionarían un escenario real en cuanto a las dimensiones físicas, económicas e institucionales de la planeación del reúso del agua en el área o localidad elegida.

Fue importante explorar todas las opciones y cuestionar todo lo posible ya que, por ser una etapa temprana del proceso de planeación, representó la oportunidad perfecta para cometer y corregir errores que pudieron convertirse en grandes obstáculos al cometerse en etapas posteriores de la planeación del reúso.

Figura 4.- Metodología Fase 1. Alternativas de Reúso de Agua



Fuente: Elaboración Propia

a. Recopilación de Información

El primer paso para comenzar la investigación fue delimitar el área de estudio en la que esta tomará lugar. Es recomendable delimitar el área de acuerdo a los sistemas de saneamiento establecidos por el órgano operador del saneamiento local. Si los sistemas resultan muy extensos para el nivel de investigación que desea realizarse, se recomienda concentrar la investigación cerca de una fuente de efluente regenerado.

Una vez delimitada el área de estudio se comenzó la investigación bibliográfica de los aspectos que impactan el uso de agua regenerada en dicha área. Esta investigación consideró los siguientes aspectos:

- Localización geográfica
- Aspectos sociodemográficos

- Condiciones climatológicas e hidrológicas
- Legislación local aplicable al uso de aguas regeneradas
- Organismo operador del agua en la ciudad
- Fuentes de suministro de agua potable
- Costo del agua potable
- Generación de aguas residuales
- Costo del agua residual
- Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales
- Generación de agua regenerada
- Costo del agua regenerada
- Infraestructura para el uso de agua regenerada
- Consumos en m³/día/superficie en la localidad de los usos de agua residual tratada permitidos por la NOM-003-ECOL

b. Sondeo

Se complementó la bibliografía con información cualitativa y cuantitativa. Se realizaron encuestas a los actores clave del reúso de agua residual tratada, así como encuestas a una muestra no representativa, para conocer la percepción de la población con respecto al uso de agua regenerada y sus implicaciones.

Tabla 7.- Ejemplos de actores clave en el Uso de Agua Regenerada

- | | |
|----|--|
| a. | Empleados activos o inactivos del organismo operador del agua local. |
| b. | Personajes relacionados con el desarrollo medio ambiental local. |
| c. | Personajes relacionados con el desarrollo de infraestructura local. |
| d. | Personajes relacionados con el desarrollo de tecnología para el tratamiento y reúso de aguas residuales. |
| e. | Personajes relacionados con la planeación urbana y ordenamiento territorial local. |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.- Propuesta de conceptos a consultar con la muestra representativa

a. Conocimientos generales sobre agua potable y aguas residuales	b. Conocimientos generales sobre el agua regenerada.
c. Conocimientos sobre legislación en materia de aguas regeneradas.	d. Disposición al uso de agua regenerada.
e. Incentivos para el uso de agua regenerada.	f. Rango de costo a pagar por el servicio de agua regenerada
g. Posibles usos del agua regenerada	h. Interés en la conservación del recurso agua.

Fuente: Elaboración Propia

c. Levantamiento de Información

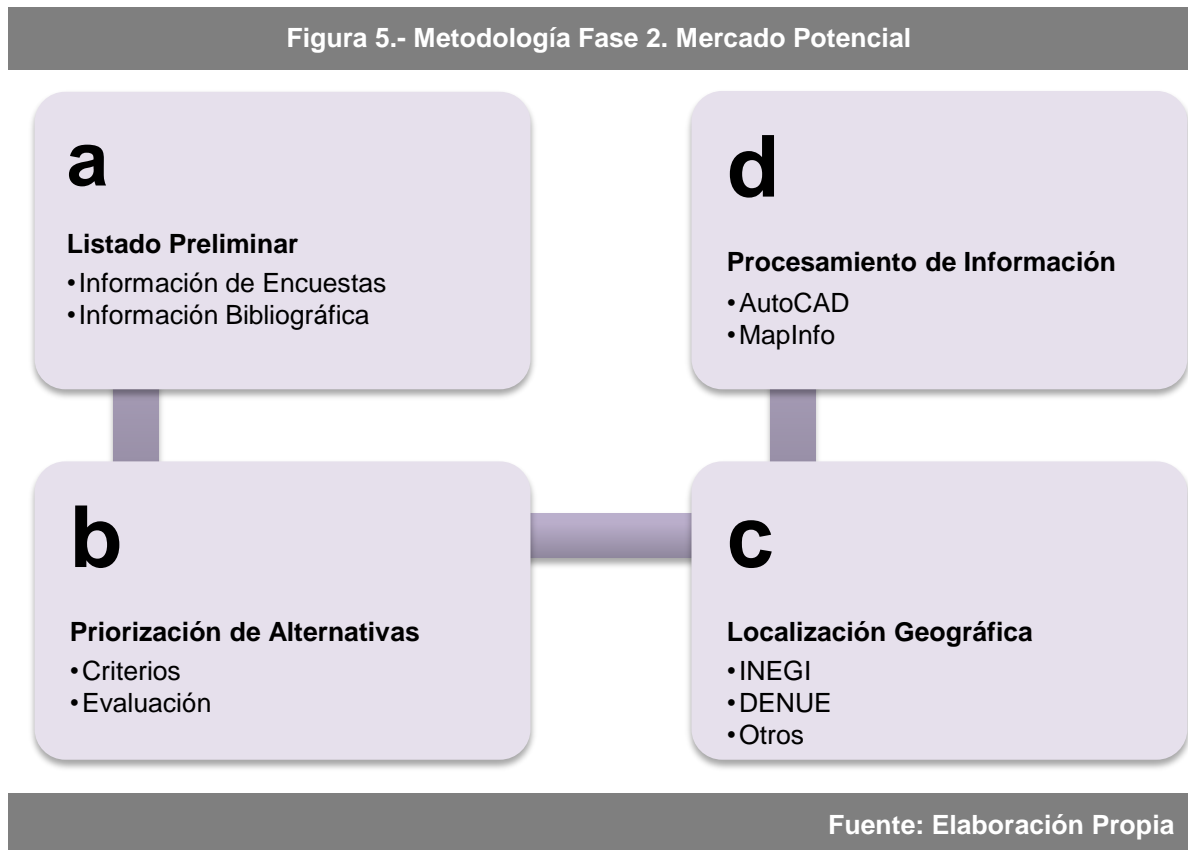
Se realizaron visitas a aquellos lugares relacionados con el uso de aguas regeneradas, como las plantas de tratamiento de aguas residuales tratadas de la localidad y las instalaciones del organismo operador. Toda la información obtenida tanto de libros, como de encuestas y entrevistas fue documentada mediante un registro fotográfico. Las entrevistas fueron grabadas o por lo menos escritas y firmadas por el entrevistado. Igualmente, las encuestas fueron impresas y cuentan con nombre y contacto del encuestado.

d. Procesamiento de Información

La información de la primera fase que resultó útil para el dimensionamiento de la capacidad de reúso de agua de la localidad, por ejemplo la ubicación de la infraestructura disponible para el tratamiento y reúso de aguas residuales, fue procesada mediante MapInfo, sistema de información geográfica comúnmente utilizado en este tipo de investigaciones.

Fase 2. Mercado Potencial

En la segunda fase de este proceso de planeación se encontró la demanda del mercado potencial de agua regenerada en el área de estudio. Para ello se siguió el proceso descrito en la figura 5.



a. Listado Preliminar

Se inició esta fase realizando un listado preliminar de alternativas de uso de agua regenerada, tomando en cuenta los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas. El listado fue complementado con información documentada en libros y otras investigaciones relacionadas al tema. No se tomó en cuenta por el momento la viabilidad del uso, lo importante fue enlistar todos los posibles usos del agua regenerada.

b. Priorización de Alternativas

Para priorizar las distintas alternativas encontradas para el reúso de agua residual tratada en el área de estudio se utilizaron una selección de variables con un valor ponderado de acuerdo a su importancia, el cual al final le da un puntaje a cada una de las alternativas, el cual representa su viabilidad y determina si deben o no ser estudiadas a detalle para su implementación. Los criterios de priorización se clasifican en sociales, ambientales, técnicos y económicos y se muestran en las tablas 9, 10, 11 y 12.

Tabla 9.- Criterios Sociales de Priorización de Alternativas.			
		Población (Habitantes)	Puntaje
Número de población beneficiada	Mide la cantidad de población beneficiada por ese tipo de reúso.	<25,000	1
		<150,000	2
		<300,000	3
		<500,000	4
		>500,000	5
Aumenta la conciencia del reciclaje	Mide el número de población que percibe el reúso y que por consiguiente aumenta su conciencia sobre el reúso del recurso.	<25,000	1
		<150,000	2
		<300,000	3
		<500,000	4
		>500,000	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10.- Criterios Ambientales de Priorización de Alternativas.			
Corresponde a la NOM-ECOL-003	Mide la correspondencia del reúso propuesto a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana correspondiente.	Criterio	Puntaje
		No cumple	0
		Si cumple	5
Reduce la contaminación	Mide la manera en que el reúso de agua propuesto evita la contaminación del entorno.	*Recarga a las aguas subterráneas	5
		*Reduce las descargas a los cuerpos de agua	3
		*Otros	1

Fuente: Elaboración Propia

*1. Recarga a las aguas subterráneas.- el tipo de reúso representa, además de una disminución en la cantidad de agua residual descargada a los cuerpos receptores de aguas, una recarga de agua para el suelo, lo cual mantiene los niveles freáticos estables y proporciona vida a la flora y fauna de los ecosistemas.

*2. Menos descargas a los cuerpos de agua.- la alternativa de reúso representan una menor descarga a los cuerpos receptores del agua residual tratada.

*3. Otros.- la alternativa de reúso puede presentar otro tipo de reducción de contaminación. Esta tiene que explicarse y argumentarse debidamente.

Tabla 11.- Criterios Técnicos de Priorización de Alternativas.

Requiere tratamiento adicional para su aplicación.	Mide la necesidad de dar tratamiento adicional al que marca la NOM-ECOL-003 al agua requerida, lo cual representaría un costo adicional para el sistema de reúso.	Criterio	Puntaje
		Si requiere	0
		No requiere	5
Consumo Aproximado (m ³ /día)	Mide el consumo, de acuerdo a una demanda potencial aproximada estimada de las alternativas.	0-500 m ³ /día	1
		500-1,000 m ³ /día	3
		1,000-10,000 m ³ /día	4
		10,000 o más m ³ /día	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12.- Criterios Económicos de Priorización de Alternativas.

Menor costo/m ³ de consumo	Mide el ahorro en pago por consumo. Considera que el costo promedio de agua para consumo doméstico es de \$7.78 pesos/m ³ ; \$30.82 pesos/m ³ para consumo no doméstico y \$8.92 pesos/m ³ por consumo de agua regenerada.	Criterio	Puntaje
		No representa ahorro.	0
		Si representa ahorro.	5
Evita costos de purificación de agua	Mide mide la posibilidad de ahorro en potabilización de agua dulce para uso humano.	Criterio	Puntaje
		No representa ahorro.	0
		Si representa ahorro.	5

Fuente: Elaboración Propia

El puntaje más alto a obtener es de 40 puntos y el más bajo es de 6 puntos. Son viables aquellas alternativas que obtengan un puntaje de 40 a 30 puntos. Pueden considerarse para proyectos futuros aquellas alternativas que obtengan entre 29 y 20 puntos. Aquellas alternativas con puntaje menor a 20 no representan viabilidad por el momento, pero no deben olvidarse para un futuro. Es importante recordar que esta es una priorización preliminar, es decir, la investigación detallada sobre la potencialidad de cada alternativa se realizara posteriormente durante el proceso de planeación.

Una vez obtenido el puntaje para todas las alternativas se acomodan de manera descendente. Solo las alternativas con más de 30 puntos son las que continúan analizándose durante las fases consecuentes.

c. Localización geográfica

Se procedió a buscar información geográfica, de contacto, superficie, entre otros, sobre las alternativas seleccionadas en diversas fuentes de información. Se consultaron las siguientes fuentes:

- Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Mexicali, B.C. (2005)
- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2009)
- Censo Económico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009)

d. Procesamiento de Información

Utilizando el programa MapInfo, se localizaron geográficamente las alternativas seleccionadas de uso de agua regenerada en el área de estudio. Para cada uno de los casos se introdujeron los siguientes datos en las tablas de información:

- Tipo de Reúso

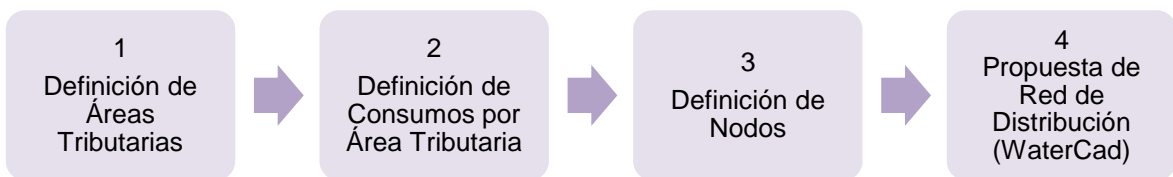
- Superficie
- Dirección
- Teléfono

Fase 3. Análisis del Mercado Potencial

Durante esta fase se analizó detalladamente la potencialidad de los mercados alternos de uso de agua regenerada. Para ello fue necesario consultar a algunos de los usuarios potenciales de manera presencial, telefónica o vía correo electrónico. La principal información que deseaba obtenerse de los usuarios era el consumo en m³/día de agua potable para los usos que marca la NOM-003-ECOL. La información obtenida se añadió a las tablas de MapInfo generadas en la fase anterior y así pudo obtenerse el costo mensual por consumo de agua necesaria para abastecer la demanda de estos usuarios.

Posterior a obtener la información de consumo de cada usuario potencial, se proyectó una propuesta de ampliación de la red de línea morada existente que pudiera abastecer con agua regenerada el área de estudio. El proceso de proyección de ampliación de la línea morada se describe en la figura 4.

Figura 6. Proceso de Proyección Ampliación Línea Morada



Fuente: (Vera Villalobos, 2011)

Conociendo las características de diámetros y piezas de la red de distribución de agua regenerada planteada es posible realizar un ante

presupuesto para contar con información aproximada sobre la inversión necesaria para la ejecución del proyecto.

Igualmente es necesario conocer los costos de operación y mantenimiento de la red y de la planta de tratamiento terciario de aguas residuales, pues estos datos serán necesarios para la evaluación económica del proyecto.

Fase 4. Evaluación de Costo-Beneficio

Teniendo la demanda potencial de agua regenerada, el costo del agua regenerada en el tiempo, el costo de agua potable, el costo de inversión del proyecto, beneficios sociales, económicos y ambientales, así como las externalidades que pudieran presentarse, se realizó el análisis de costos y beneficios del proyecto para comprobar su viabilidad económica y social. Cabe mencionar que puede analizarse cada alternativa por separado, o bien analizar el proyecto de manera integral, considerando que la inversión inicial de la infraestructura servirá para dar servicio de agua regenerada a todas y cada una de las alternativas, como una red de suministro de agua regenerada. En el caso de esta investigación, el análisis fue integral.

El análisis costo beneficio se realizó con el fin de comprobar la viabilidad y rentabilidad del suministro de agua regenerada a los usuarios potenciales identificados en las fases anteriores. El esquema general para el análisis de costo-beneficio se resume de la siguiente manera:

1. Identificar los beneficios para los usuarios que se esperan del proyecto.
2. Cuantificar en la medida de lo posible, estos beneficios en términos monetarios, de manera que puedan compararse diferentes beneficios entre sí y contra los costos de obtenerlos.

3. Identificar los costos del patrocinador.
4. Cuantificar, en la medida de lo posible, estos costos en términos monetarios para permitir comparaciones.
5. Determinar los beneficios y los costos equivalentes en el período base, usando la tasa de interés apropiada para el proyecto.
6. Aceptar el proyecto si los beneficios equivalentes de los usuarios exceden los costos equivalentes de los promotores ($B > C$).

El análisis costo-beneficio se realizó a través de los análisis financiero y económico, los cuales aportan la prueba previa pertinente en el marco del método del flujo de efectivo y del análisis de la relación costo-beneficio.

La tasa interna de retorno, TIR, es la tasa que iguala el valor presente neto a cero. También es conocida como tasa crítica de rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida (tasa de descuento) para un proyecto de inversión específico.

La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la TIR, toma como referencia la tasa de descuento. Si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido. Por el contrario, si la TIR es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido. (Didier Vaquiro, 2006)

CAPÍTULO III RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados de los hallazgos de la investigación. La finalidad es desarrollar un análisis completo que gire alrededor de los ejes de la oferta y demanda de los servicios de agua regenerada. Para lo cual, con base en la metodología descrita en el capítulo tercero de esta investigación, se evalúa la tendencia, el comportamiento y la proyección de cada uno de estos ejes. Teniendo como propósito final contar con un panorama multidimensional que refleje características, oportunidades, obstáculos y debilidades del reúso del agua en el área de estudio.

Fase 1. Alternativas de Reúso del Agua

a. Recopilación de Información

Delimitación del Área de Estudio

Para esta investigación se delimito un área de estudio de 87,753,472.201 m², misma que comprende el sistema de saneamiento de la CESPМ Mexicali IV y que abarca el área sureste de la ciudad de Mexicali, donde se ubican avenidas importantes como lo son Lázaro Cárdenas, Corredor Industrial Palaco, Santiago Vidaurri, Calzada Cetys, entre otras. Es importante considerar que si se desea realizar este de los sistemas de saneamiento de la ciudad, debe realizarse el mismo proceso.

2004 de 671,563 habitantes. (Gobierno Municipal de Mexicali, 2005) Para el año 1990 el área urbana de Mexicali contaba con una población de 453,110 hab., y en el 2000 alcanzó un total de 590,096 hab. Con una tasa promedio anual de 2.7% en el período.

Para estimar la población al 2025 en la ciudad de Mexicali, el PDUCP 2025 (2005) considera en su escenario crítico, la tendencia censal de 2.7%, de lo que resulta una población de 1'142,179 habitantes en el 2025, misma que se considerará para este análisis.

Con respecto a la actividad económica, 38 de cada 100 personas en edad activa participan en la actividad económica, ya sea porque están ocupadas o porque buscan estarlo (población desocupada). (Gobierno Municipal de Mexicali, 2005) La Tasa de Desempleo Abierto (TDA) es el 0.32% de la Población Económicamente Activa.

En cuanto a la distribución por sectores productivos en la ciudad, según el PDUCP 2025 (2005), el 54.48% de la población económicamente activa (PEA) ocupada se dedica al Sector Terciario (comercio, transporte, servicios financieros, servicios profesionales, en gobierno y otros servicios), y el 35.46% al Sector Secundario (minería ,generación y suministro de electricidad y agua, construcción o industria manufacturera), mientras que el resto de la PEA ocupada, que representa un 10.06%, se dedica al Sector Primario (agricultura , ganadería, silvicultura, caza o pesca).

Condiciones climatológicas e hidrológicas

La ciudad de Mexicali se encuentra situada en la provincia fisiográfica del desierto de Sonora, caracterizada por presentar un tipo de clima cálido-seco en donde se presentan escasas precipitaciones pluviales con lluvias en invierno. (Gobierno Municipal de Mexicali, 2005) La temperatura promedio en verano es

de 38 a 40° C llegándose a registrar máximas de 52° C. La temperatura media anual es de 23 a 27 ° C, siendo el mes más frío enero con una media mensual de 12.7 a 15° C.

La precipitación pluvial en la zona es escasa, con un promedio anual de 36 mm, aunque se registran años con una precipitación de 73.9 mm durante la época de invierno, alcanzando en algunas ocasiones los 132 mm.

En cuanto a su topografía, la ciudad de Mexicali es relativamente plana. Presenta pendientes que van de 0 al 2 % en la mayor parte de su superficie, lo cual hace necesaria la utilización de sistemas de bombeo para abastecerla de agua potable, así como para el desalojo de las aguas residuales y el drenaje pluvial, causando costos extraordinarios para la habilitación y construcción de obras de infraestructura. (Gobierno Municipal de Mexicali, 2005)

Con respecto a su hidrología, la ciudad de Mexicali se encuentra ubicada dentro de la región hidrológica Numero 7 "Río Colorado". Este Río conforma una cuenca con una superficie de 634,000 km², correspondiendo solamente 7,085.125 km² al territorio nacional. La longitud total en Territorio Mexicano es de 185 km. y aporta 2,650 millones de m³ anuales de agua que son aprovechados por el Distrito de Riego Numero 14.

El Tratado de Aguas Internacionales (1944) celebrado entre México y Estados Unidos asigna a México para su aprovechamiento un volumen de 1'850,234,000 m³/año de las aguas del Río Colorado. Por otra parte se firmó el Acta 242 de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) que estipula la entrega del agua del Río Colorado con una salinidad aceptable y la perforación de pozos en la Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora.

Oficialmente, la ciudad de Mexicali tiene una asignación de 82 millones de m³ anuales de agua y se reciben de la Presa Morelos, ubicada en Los Algodones. Esta agua fluye por los canales del Distrito de Riego No. 14 del Valle de Mexicali y finalmente el Canal Benassini entrega el agua a las dos plantas potabilizadoras principales manejadas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), organismo descentralizado de gobierno de Baja California creado en diciembre de 1967, encargado de la potabilización, distribución, captación y saneamiento del agua potable y aguas residuales generadas en el Municipio de Mexicali. La CESPM organiza los servicios de la ciudad de Mexicali en 4 sistemas, de acuerdo al crecimiento de la ciudad a lo largo del tiempo. (Hernández I. L., 2010)

El Valle de Mexicali cuenta con el acuífero más importante del Estado, es de carácter internacional y en conjunto con las aguas concedidas a México por Estados Unidos permiten mantener la superficie actualmente bajo riego. El acuífero del Valle de Mexicali experimenta una recarga anual total de 700 millones de m³, de los cuales 80 millones de m³, es decir, el 11%, son aportados por las infiltraciones del Canal Todo Americano (García, G., 2004: p.94). Este acuífero, sin embargo, de acuerdo con los reportes de la Comisión Nacional del Agua, se encuentra sobreexplotado registrando un déficit de 35 millones de m³ anuales, aunque otras fuentes llegan a estimar el déficit de hasta 400 millones de m³ al establecer una extracción media anual de agua de entre 925 y 1,100 millones de m³. (Contreras Rodríguez, 2005)

Por su parte, las escasas precipitaciones que se presentan en esta zona resultan insuficientes para recargar los mantos acuíferos aunque el agua subterránea es una fuente importante para el desarrollo de las actividades económicas, el acuífero del valle de Mexicali, se utiliza básicamente en la agricultura y en menor proporción al uso doméstico.

Legislación local aplicable al uso de agua regenerada

La legislación aplicable a la ciudad de Mexicali en materia de agua regenerada es la misma que aplica para el resto del país. En cuanto a la calidad del agua regenerada, la norma oficial mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen. El límite máximo permisible es aquel “valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada”. (SEMARNAT, 1997, pág. 5)

En la tabla 13, la NOM-003-SEMARNAT-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 13.- Límites Máximos Permisibles de Contaminantes NOM-003-SEMARNAT-1997

Tipo de Reúso	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
Servicios al Público con Contacto Directo	240	≤ 1	15	20	20
Servicios al Público con contacto indirecto u ocasional	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997

Así mismo, especifica que la materia flotante debe estar ausente y que no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites permisibles establecidos en la tabla 3 de la NOM-001-ECOL-1996. Las tablas 2 y 3 muestran el resumen de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL para los distintos parámetros.

Tabla 14.-Límites máximos permisibles para contaminantes básicos para uso público urbano y recreación (promedio diario)

	Temp. °C	Grasas y Aceites	Materia Flotante	Sólidos Sedimentables (ml/L)	Sólidos Suspendidos Totales	DBO5	N Total	P Total
LMP (mg/L)	40	25	0	2	125	150	60	30

Fuente: Adaptación NOM-001-ECOL-1996.

Tabla 15.-Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros para uso público urbano y recreación (promedio diario)

	Arsénico	Cadmio	Cianuros	Cobre	Cromo	Mercurio	Níquel	Plo mo	Zinc
LMP (mg/L)	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0	0.01	4.0	0.4	20.0

Fuente: Adaptación NOM-001-ECOL-1996.

El pH es un parámetro que también debe medirse en el agua. Este se usa para determinar la acidez o alcalinidad del recurso. El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución. Usualmente es mejor cuando el agua presenta un pH ≥ 7 .

El color y el olor del agua a reutilizarse también son importantes. La norma mexicana NMX-AA-045-SCFI-2001 establece el método para la determinación de color aparente y/o verdadero, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. No se establece algún parámetro para el color, simplemente que este sea agradable a la vista (20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto). En cuanto al olor, este deberá de ser agradable, se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico. (SSA, 1994) Por lo tanto, para poder reusar las aguas

residuales tratadas, la calidad del agua regenerada debe de cumplir con los parámetros mostrados en la tabla 16.

El resumen de análisis fisicoquímicos de afluentes y efluentes de la PTAR Mexicali (2010), emitido por el Departamento de Control de Procesos de la Subdirección de Agua y Saneamiento de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, determina que el efluente generado en la Planta de Tratamiento Terciario de Zaragoza cumple en su mayoría con los estándares de calidad determinados por la norma correspondiente.

Tabla 16.- Límites máximos permisibles para contaminantes para uso público urbano y recreación (Promedio diario)

Parámetro	Límite Máximo Permissible
Color	Agradable a la vista.
Olor	Tolerable
pH	>7.0
Temperatura	40 °C
Coliformes Fecales	a)240 NMO/100 ml b)1,000 NMP/100 ml
Huevos de Helminto	a)≤1 h/l b)≤5 h/l
Grasas y Aceites	15 mg/L
DBO ₅	a)20 mg/l b)30 mg/l
Materia Flotante	0 mg/L
Sólidos Sedimentables	2 ml/L
Sólidos Suspendedos Totales	a)20 mg/L b)30 mg/L
Nitrógeno Total	60 mg/L
Fósforo Total	30 mg/L
Arsénico	0.2 mg/L
Cadmio	0.2 mg/L
Cianuros	2.0 mg/L
Cobre	6.0 mg/L
Cromo	1.0 mg/L
Mercurio	0.01 mg/L
Níquel	4.0 mg/L
Plomo	0.4 mg/L
Zinc	20 mg/L

Fuentes: Adaptación de NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-001-ECOL-1996, NMX-AA-045-SCFI-2001, NOM-127-SSA1-1994. Dónde: a) Uso Público Urbano, b) Recreación

Tabla 17.- Resultados del análisis fisicoquímicos de afluentes y efluentes de la PTAR Mexicali de 2010

Parámetro	Límite Máximo Permissible	Resultados Laboratorio 2010	Cumplimiento
Color	Agradable a la vista.	Sin Color	Si Cumple
Olor	Tolerable	Tolerable	NA
pH	>7.0	p. 6.997	Si Cumple
Temperatura	40 °C	23.9°C	Si Cumple
Coliformes Fecales	a)240 NMP/100 ml b)1,000 NMP/100 ml	<3 NMP/100 ml	Si Cumple
Huevos de Helminto	a)≤1 h/l b)≤5 h/l	<1 h/l	Si Cumple
Grasas y Aceites	15 mg/L	<9 mg/L	Si Cumple
DBO ₅	a)20 mg/l b)30 mg/l	3.63 mg/l	Si Cumple
Materia Flotante	0 mg/L	Ausente	Si Cumple
Sólidos Sedimentables	2 ml/L	<0.1 ml/L	Si Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	a)20 mg/L b)30 mg/L	>20 mg/L	No Cumple
Nitrógeno Total	60 mg/L	<60 mg/L	Si Cumple
Fósforo Total	30 mg/L	<30 mg/L	Si Cumple
Arsénico	0.2 mg/L	<0.2 mg/L	Si Cumple
Cadmio	0.2 mg/L	<0.2 mg/L	Si Cumple
Cianuros	2.0 mg/L	<2.0 mg/L	Si Cumple
Cobre	6.0 mg/L	<6.0 mg/L	Si Cumple
Cromo	1.0 mg/L	<1.0 mg/L	Si Cumple
Mercurio	0.01 mg/L	<0.01 mg/L	Si Cumple
Níquel	4.0 mg/L	<4.0 mg/L	Si Cumple
Plomo	0.4 mg/L	<0.4 mg/L	Si Cumple
Zinc	20 mg/L	<20 mg/L	Si Cumple

Fuente: (CESPM C. d., 2010)

Organismo operador del agua en la ciudad

La gestión y administración, así como la recolección de las aguas residuales de la ciudad de Mexicali es operado por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), organismo público descentralizado del Estado de Baja California, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Esta comisión es creada mediante el Decreto 99 publicado el 10 de diciembre de 1967 con el objeto específico de atender la planeación, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario en el Municipio de Mexicali. (Fitch Inc., 2010)

Se destaca a nivel nacional por sus niveles de eficiencia física y en micro medición; de igual forma registra niveles sobresalientes en la cobertura del servicio de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. En los últimos años se han realizado importantes inversiones, especialmente destinadas a incrementar la cobertura de alcantarillado (Mexicali IV), financiadas con deuda, recursos gestionados a fondo perdido (estatales, federales e internacionales) y los generados por el propio organismo.

Su estructura organizacional se rige por una Dirección General y un Consejo de Administración presidido por el Gobernador del Estado. Este consejo está integrado por representantes de los gobiernos estatal y municipal, así como de la iniciativa privada y representantes ciudadanos. La organización del organismo está ligada a los cambios en la administración del gobierno estatal (ver fotografía 23). Para la determinación de las tarifas del organismo se involucran Consejo y Dirección General, siendo aprobadas por el Congreso del Estado. Actualmente, las direcciones de saneamiento y comercialización de la CESPMM son las encargadas de atender lo referente al reuso del agua en la ciudad.

La Comisión proporciona sus servicios a una población de 935 mil habitantes (96.4% de la población municipal). Adicionalmente, da apoyo técnico a los sistemas de agua individuales de localidades dispersas en el territorio municipal que por situación geográfica o bien por decisión propia aún no han gestionado su adhesión al organismo.

En cuanto a los niveles de eficiencia, cobertura y servicios, la CESPMM presenta una situación favorable en el contexto nacional, presentando un nivel de 82.4% de eficiencia física (vol. facturado / vol. producido). En cobranza (vol. cobrado / vol. facturado) se alcanzó un nivel de 88.3%. De acuerdo a lo anterior, la eficiencia global (vol. cobrado / vol. producido) se ubica en 72.8%.

En alcantarillado presenta una cobertura de servicio de 85.8%; cabe mencionar, que si bien esta última cobertura es satisfactoria de acuerdo a lo observado en la gran mayoría de los organismos de agua en México, la CESPMM ha venido canalizando recursos importantes de inversión para continuar mejorando sus servicios. En lo que respecta a saneamiento de aguas residuales, la comisión da tratamiento secundario al 100% de las aguas captadas por el sistema.

Fuentes de suministro de agua potable

El agua del Río Colorado se capta en México en la estructura derivadora denominada "Presa Morelos", que se encuentra en el poblado fronterizo de "Los Algodones, Baja California. El agua fluye por el Distrito de Riego No. 14 y es así como el canal Benassini abastece a dos de las tres plantas potabilizadoras de la Cd. de Mexicali, Planta potabilizadora No. 1 y Planta potabilizadora No. 2, y el canal Reforma abastece a la tercera denominada Planta potabilizadora No. 3. (LHP&EPJM, 1998-2009)

La CESPMM, opera tres plantas potabilizadoras con las que abastece la Ciudad de Mexicali. A Enero de 2009 contaba con 2,884.1 kilómetros de tubería para la distribución de agua potable en la Ciudad y 807.7 kilómetros en el Valle y San Felipe. En cuanto a tomas domiciliarias; se cuenta con un padrón de 313,380 de las cuales el 93 % son domésticas y el resto comercial. Del total de las tomas el 10.3% corresponden al Valle de Mexicali y San Felipe. (LHP&EPJM, 1998-2009)

Las plantas potabilizadoras de la ciudad de Mexicali cuentan con cribas, tanques presedimentadores de agua cruda, clarificadores, filtros duales de arena-antracita, desinfección con gas cloro, tanques reguladores y estaciones de bombeo a la red, esto último debido a que la topografía de la ciudad es prácticamente plana. (LHP&EPJM, 1998-2009)

La planta potabilizadora No. 1 (Colonia Prohogar, 1800 lps) entró en operación el año de 1963, y es hasta estos últimos años que se han realizado inversiones para adecuar los procesos a los requerimientos actuales de demanda y calidad de agua de esta planta. La planta potabilizadora No. 2 (Colonia Calles, 2500 lps) fue puesta en operación el 6 de enero de 1993. En el periodo 2001-2002 se realiza la ampliación de la planta potabilizadora No. 3 (Colonia Xochimilco, 1250 lps), incrementando su capacidad de 80 a 250 l/s. En Octubre de 2007 se puso en servicio una nueva ampliación de la planta potabilizadora No. 3, aumentando su capacidad de potabilización de 250 lps a 1250 lps. (LHP&EPJM, 1998-2009)

Una vez que el agua llega hasta las plantas potabilizadoras se somete al proceso que la acondiciona como potable de acuerdo a la NOM-127-SSA-1975. Cuando el agua es potabilizada se almacena en tanques desde donde es bombeada a la red de distribución, misma que llega el agua hasta las tomas domiciliarias de cada uno de los usuarios. La ciudad de Mexicali cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99% (ver plano B). (LHP&EPJM, 1998-2009)

Costo del agua potable

El precio del agua para potabilización se establece a través de la Ley Federal de Derechos vigente. Tanto el uso como el consumo de agua son gravados con un cargo por m³, de acuerdo a una zonificación de disponibilidad de agua en el territorio nacional, definido en los artículos 223 y 231 de esta ley.

La tabla 18 muestra la cuota por m³ de agua proveniente de fuentes superficiales o extraídas del subsuelo, a excepción de las aguas del mar, según la Ley Federal de Derechos 2011.

Tabla 18.- Cuota por m3 de agua proveniente de fuentes superficiales	
Zona de Disponibilidad	Cuota/m3 (MN)
1	\$18.2894
2	\$14.6310
3	\$12.1924
4	\$10.0589
5	\$7.9248
6	\$7.1623
7	\$5.3909
8	\$1.9153
9	\$1.4354

Fuente: Ley Federal de Derechos 2011

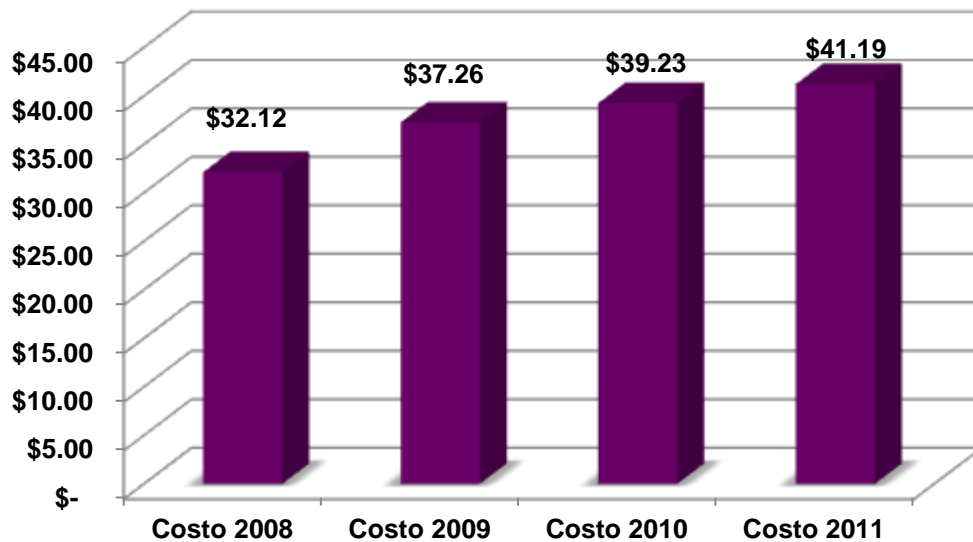
El artículo 231 de la Ley de Aguas Nacionales define al municipio de Mexicali, en Baja California como perteneciente a la zona 4 de disponibilidad de agua en el territorio nacional. Si al costo de obtener el agua para potabilización, le sumamos el costo de potabilizarla, alrededor de \$1.18 pesos/m³, el precio total pagado por obtener agua potable es de \$11.24 pesos/m³. (Ramírez González, Santacruz Lara, Garrido Hoyos, Fuentes Díaz, Calderón Molgora, & Montellano Palacios) Es importante saber este precio para calcular el beneficio que se obtendría de reusar el agua y no tener que potabilizarla.

Pudiera decirse que el valor económico actual del agua es simple y pura renta, entendida ésta como es en el caso, por ejemplo, del agua embotellada o en el riego, donde el agua dulce es un bien natural escaso y diferenciado que con su empleo productivo y mercantil que adopta en el mercado, genera beneficios económicos al capital. El agua dulce es hoy uno más de los recursos naturales cuyos valores social y ambiental están fuertemente distorsionados por los beneficios económicos que le generan al capital su empleo productivo, como también es el caso de los suelos o tierras agrícolas y forestales, el aire, la biodiversidad, los recursos del subsuelo, las franjas del espectro electromagnético, las ubicaciones privilegiadas, etc. (López, 2009)

El costo del agua potable, ya sea para consumo doméstico o no doméstico, se calcula de acuerdo a los metros cúbicos consumidos. La Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal 2010 determina que para consumo doméstico de 0 a 5 m³, la tarifa es de \$39.23 MN. Los metros cúbicos adicionales se cobran como se muestra en la tabla 6. Las gráficas 1 y 2 presentan los costos por m³ que muestra la CESPМ en la calculadora de consumo de agua potable para uso doméstico y no doméstico su portal de internet.

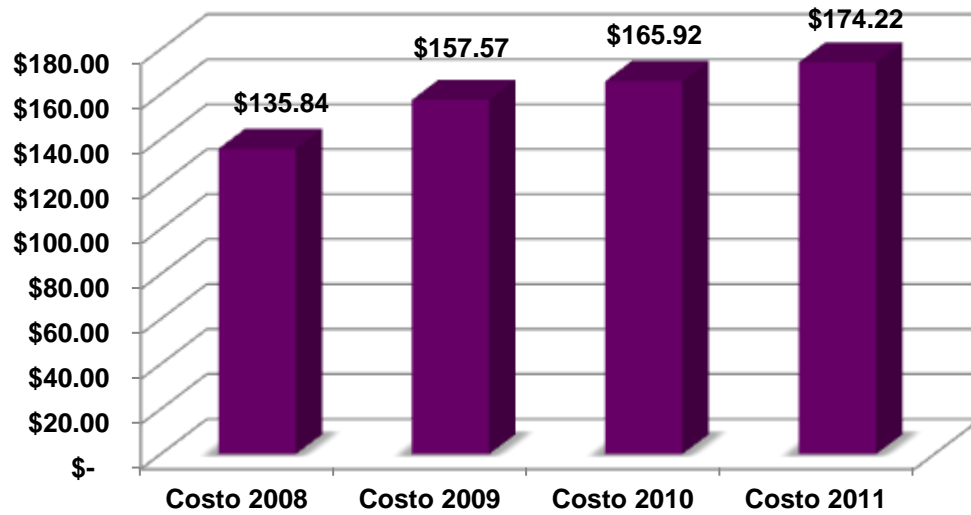
Las tarifas de agua potable para uso doméstico y no doméstico han presentado una tasa de aumento promedio del 8.66% anual, comportándose como se muestra en la tabla 21.

Gráfica 1.- Tarifa por consumo de agua potable para uso doméstico en Mexicali 2008-2011 (primeros 5 m³)



Fuente: (GobBC, 2007) (GobBC, 2008) (GobBC, 2009; GobBC, 2010)

Gráfica 2.- Tarifa por consumo de agua potable para uso no doméstico en Mexicali 2008-2011 (primeros 5 m³)



Fuente: (GobBC, 2007) (GobBC, 2008) (GobBC, 2009; GobBC, 2010)

Tabla 19.- Tarifa por consumo de agua potable para uso doméstico en Mexicali

Rango Consumo (m ³)	Costo/m ³ (MN)
0-5	\$39.23
5-10	\$2.57
10-15	\$3.44
15-25	\$3.81
25-30	\$3.96
30-40	\$4.86
40-50	\$8.35
50-60	\$10.31

Fuente: Adaptación (GobBC, 2009)

Tabla 20.- Costo Aproximado por metro cubico de consumo de agua potable para uso domestico

Consumo (m ³)	Costo Total	Costo Aprox/m ³
5	\$41.62	\$ 8.32
10	\$55.27	\$ 5.53
15	\$73.52	\$ 4.90
25	\$113.92	\$ 4.56
30	\$134.92	\$ 4.50
40	\$186.42	\$ 4.66
50	\$275.02	\$ 5.50
60	\$384.42	\$ 6.41
70	\$543.32	\$ 7.76
80	\$702.22	\$ 8.78
90	\$861.12	\$ 9.57
100	\$1,020.02	\$ 10.20
120	\$1,337.82	\$ 11.15
150	\$1,814.52	\$ 12.10
180	\$2,291.22	\$ 12.73
Tarifa promedio	\$	7.78

Fuente: Consultas en Línea. Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx

Tabla 21.-Costo Aproximado por metro cubico de consumo de agua potable para uso no domestico

Consumo (m ³)	Costo Total	Costo Aprox/m ³
5	\$ 176.05	\$ 35.21
10	\$ 315.00	\$ 31.50
15	\$ 453.95	\$ 30.26
25	\$ 731.85	\$ 29.27
30	\$ 870.80	\$ 29.03
40	\$ 1,148.70	\$ 28.72
50	\$ 1,474.90	\$ 29.50
60	\$ 1,801.10	\$ 30.02
70	\$ 2,127.30	\$ 30.39
80	\$ 2,453.50	\$ 30.67
90	\$ 2,779.70	\$ 30.89
100	\$ 3,105.90	\$ 31.06
120	\$ 3,781.50	\$ 31.51
150	\$ 4,794.90	\$ 31.97
180	\$ 5,808.30	\$ 32.27
Tarifa promedio	\$	30.82

Fuente: Consultas en Línea. Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx

Generación de aguas residuales

De 2,677 lps de agua para potabilización y uso y consumo humano obtenidos del Canal Benassini destinados a la Ciudad de Mexicali, 1,052 lps (39.29%) son captados por el Sistema Mexicali I de alcantarillado sanitario de la CESPМ a través de sus 7 plantas de bombeo de aguas residuales, mientras que 645 lps (24.09%) son captados por el Sistema Mexicali II a través de 4 plantas de bombeo de aguas residuales. Es importante mencionar que una de las plantas del Sistema Mexicali II, la PBAR 10, aun no se encuentra en operación, ya que aún no se ha hecho la entrega-recepción a la Comisión Estatal por parte de la empresa subcontratada para su construcción.

De 1,052 lps captados por Mexicali I, 257 lps de agua curda se venden a la empresa INTERGEN y el resto ingresa a la PTAR Zaragoza a un tratamiento primario. El efluente que ingresa a Mexicali II (Arenitas) se descarga en casi su totalidad, a excepción del agua que se evapora, una vez que ha sido tratado (tratamiento secundario) al Rio Hardy.

El agua residual producida y no reusada por las instituciones o fraccionamientos que cuentan con plantas de tratamiento privadas también es recibida en la red de alcantarillado sanitario de la CESPМ y es enviada a las PBAR y plantas de tratamiento de la ciudad.

Costo del agua residual

El costo del agua residual es determinado por la Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal correspondiente. A lo largo del tiempo a variado como se muestra en la gráfica tres.

Gráfica 3.- Tarifa por m³ de agua residual sin tratar entregada en planta en Mexicali 2008-2011



Fuente: Ley de Ingresos del Estado de Baja California para los ejercicios de 2008 a 2011.

Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales

El objetivo del proceso de tratamiento es el de producir agua de una calidad tal que cumpla con la normatividad oficial (NOM-001-SEMARNAT y NOM-003-SEMARNAT) exigida para su descarga a los cuerpos receptores propiedad de la nación y posibilitar su reúso.

El tratamiento del agua residual consiste en degradar y estabilizar los residuos orgánicos separando a la vez el material inorgánico que contiene dicha agua, esto se lleva a cabo mediante procesos físicos, biológicos y químicos, los cuales se denominan primario, terciario y secundario.

Los procesos físicos son esencialmente: la aireación inducida por medios mecánicos, la sedimentación y los efectos producidos por la luz del sol y el viento. Las reacciones químicas y biológicas se basan en el principio de que los organismos vivos se alimentan de sólidos orgánicos, produciendo desechos que al mismo tiempo son alimento para organismos que le suceden, los cuales continúan con el proceso de degradación hasta que los sólidos orgánicos quedan finalmente reducidos y estabilizados a compuestos amigables a la naturaleza como dióxido de carbono, nitrógeno, metano y agua.

Para la ciudad de Mexicali, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali cuenta con los siguientes sistemas de tratamiento: 2 sistemas de tratamiento lagunar (primario y secundario) en la Ciudad de Mexicali (PTAR Zaragoza y PTAR Arenitas) y 3 sistemas privados de tratamiento a base de lodos activados (CETYS, UABC, ITM). (Hernández, 2010)

El total del gasto ingresado a la PTAR Zaragoza (Mexicali I) se somete a tratamientos primario y secundario, los cuales le permiten obtener un recurso con calidad suficiente para cumplir con la NOM-001-SEMARNAT. En promedio anual, de los 628 lps ingresados a la PTAR Zaragoza, considerando pérdidas

por evaporación, 159 lps se bombean y venden a la Termoeléctrica de Mexicali; 476 lps se descargan al Dren Internacional para después conducirse hasta el Saltón por el Rio Nuevo; 156 lps se destinan al Módulo de Riego No. 20; y 7 lps se venden a la empresa Intergen. 7 lps por segundo del gasto ingresado a la PTAR Zaragoza es enviado a un tratamiento terciario, el cual le permite al agua cumplir con lo establecido en la NOM-ECOL-003. (Hernández I. L., 2010)

Además de las descargas al Rio Nuevo realizadas por la CESPМ, se considera un gasto de 173 lps de descargas de agua residual cruda, correspondiente a un estimado de la aportación de las colonias en la periferia de la ciudad que no disponen de drenaje sanitario.

Generación de agua regenerada.

En 2005, se construyó una Planta de Tratamiento que toma agua del efluente de la Planta de Tratamiento Mexicali I, que después es sometida a un proceso de clarificación y filtrado que cumple con la normatividad vigente (NOM-ECOL-003-SEMARNAT). Esta planta tiene una capacidad de 15 lps que actualmente es la única fuente de abastecimiento de agua regenerada en la ciudad. (LHP&EPJM, Infraestructura: Reuso del Agua, 1998-2009)

Existen otras fuentes de producción de agua regenerada, las cuales no están interconectadas al sistema de agua regenerada de la CESPМ. Estas fuentes son las plantas de tratamiento de la Universidad Autónoma de Baja California (10 lps), Centro de Enseñanza Técnica y Superior (7 lps) y el Instituto Tecnológico de Mexicali (7 lps). Así mismo el agua regenerada que se deriva de las plantas de tratamiento privadas como lo son la de la Fábrica de Papel San Francisco y la de los fraccionamientos al oriente de la ciudad de Casas GEO.

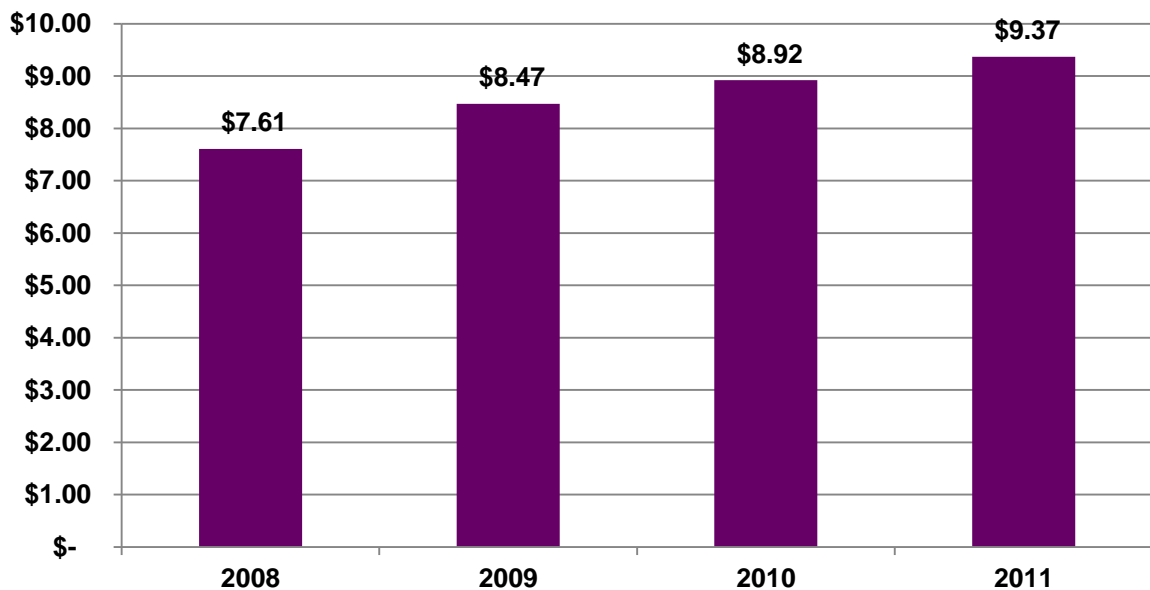
En 2011 iniciara la construcción del Sistema Mexicali IV, lo cual implica la ampliación de la PTAR Arenitas y la construcción de una PTAR (tratamiento

terciario) con capacidad de 26 lps en la Zona Oriente de la Ciudad. Esta planta será construida por la CESPМ y la iniciativa privada y será operada por la CESPМ.

Costo del agua regenerada

La Ley de Ingresos del Estado de Baja California para los ejercicios fiscales correspondientes es la ley que regula las tarifas de los servicios públicos, entre ellos el agua regenerada. El costo del agua regenerada, según la Ley de Ingresos 2010, es de \$8.92 MN/m³, presentado un aumento promedio del 7% anual.

Gráfica 4.- Costo del agua residual tratada entregada a domicilio.



Fuente: (GobBC, 2007) (GobBC, 2008) (GobBC, 2009; GobBC, 2010)

Infraestructura para el uso de agua regenerada

La CESPМ promueve la reutilización de aguas residuales debidamente tratadas para el riego de jardines, camellones y áreas verdes, como parte de los esfuerzos para la conservación del medio ambiente a través de un eficiente y

efectivo sistema de recolección de aguas residuales. A este proyecto se le denominó Línea Morada y está a cargo del Área Comercial de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. Inició en 2005 a raíz de la generación de agua tratada a nivel terciario en la planta ubicada en Zaragoza, la cual tiene una capacidad para producir 15 lps de agua regenerada. (Hernández, 2010)

El proyecto de la línea morada abarca en gran parte el área sur de la ciudad de Mexicali, ubicándose en los camellones de vialidades principales como la carretera Mexicali-Tijuana, calzada Héctor Terán Terán, Río Nuevo, Blvd. López Mateos y el Blvd. Lázaro Cárdenas. Según los reportes de la planeación de redes de agua residual tratada, para el 2008 se pretendía aumentar la línea 4.7 km con una inversión de \$3,277,500 MN; para 2009, 9.0 km con \$3,600,000 MN; en 2010, 3.5 km con \$3,670,000 MN; en 2011, 6.9 km con \$3,770,000 MN; en 2012, 3.0 km con \$5,100,000 MN; y finalmente en 2013, 9.6 km con \$3,905,000. De igual manera se pretendía ampliar la planta de tratamiento terciario existente con una inversión de \$7 MDP. Los costos de inversión mencionados solo incluyen el precio de la tubería, pues los costos de mano de obra y equipo correrían a cuenta de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali. (Vera Villalobos, 2009)

Según el proyecto de la CESPMP para el suministro e instalación de tubería PVC para la reutilización de agua tratada en los camellones de los principales bulevares de la ciudad de Mexicali, B.C., la línea morada cuenta con 20.7 km (Ruiz R, 2008) de tubería de PVC clase 100 DR 25 ESP. AWWA C-900 y tubería de PVC clase 165 DR 25 ESP. AWWA C-905 instalados y en funcionamiento. De los cuales 16.75 son de tubería diámetro 6", 2.43 km de tubería diámetro 10" y 1.57 km de tubería diámetro 12". Este dato difiere de los 53.059 km de tubería existentes mencionados en la página web de la Comisión. (LHP&EPJM, 1998-2009)

Por ser un proyecto de iniciativa de la CESPМ, es decir, que no será licitado públicamente para su elaboración, el Área Comercial no cuenta con un presupuesto formal de inversión para el mismo. La inversión del proyecto de la línea morada existente, para efectos de esta investigación, fue calculada de acuerdo a un precio total por metro lineal de tubería que considera los siguientes factores:

- Suministro de tubería
- Excavación
- Instalación
- Relleno
- Ruptura y reposición de camellón, banqueteta o pavimento
- Piezas especiales
- Sondeos y reparaciones
- Mano de obra

A través de este análisis se llegó a los precios por ml de tubería instalado que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22.- Precio total por metro lineal de tubería de línea morada.

Tipo de Tubería	Precio/ml
Tubería PVC Hidráulica clase 150 (dr 18), según especificación AWWA c-900. De 4" ø	\$430.56
Tubería PVC. Hidráulica clase 150 (dr 18), según especificación AWWA c-900. De 6" ø	\$624.00
Tubería PVC. Hidráulica clase 150 (dr 18), según especificación AWWA c-900. De 8" ø	\$777.73
Tubería PVC Hidráulica clase 150 (dr 18), según especificación AWWA c-900. De 10" ø	\$1,070.16
Tubería PVC Hidráulica clase 150 (dr 18), según especificación AWWA c-900. De 12" ø	\$1,265.27
Tubería PVC Hidráulica clase 165 (dr 25), según especificación AWWA c-905. De 14" ø	\$1,405.19
Tubería PVC Hidráulica clase 165 (dr 25), según especificación AWWA c-905. De 16" ø	\$1,813.42

Fuente: (Vera Villalobos, 2009)

Tomando en consideración estos precios, la inversión total para los 20.7 km de la línea morada existente de la ciudad de Mexicali, da un total de \$15,060,836.32 MN. Esta inversión sirve a más de 70 usuarios, los cuales se distribuyen como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23.- Usuarios de la Línea Morada de la CESPM en la Ciudad de Mexicali, B.C.

Zona Comercial	Usuario
Zona 2	Camellón Carretera Mexicali-Tijuana Km 3+914 al 6+919
Zona 2	Camellón Blvd. Lázaro Cárdenas
Zona 2	Parque Industrial Progreso
Zona 2	Energía Azteca
Zona 2	Energía de Baja California
Zona 2	Termoeléctrica de Mexicali
Zona 3	Comisión Estatal del Agua
Zona 5	Instituto Educativo del Noroeste
Zona 7	Camellón Carretera Mexicali-Tijuana
Zona 7	Camellón Calz. Héctor Terán Terán
Zona 7	Teleinmobiliaria S de RL
Zona 7	Gas Butano Propano de B.C.
Zona 12	Liga de Beisbol Poniente de Mexicali
Zona 12	Áreas verdes Ayuntamiento de Mexicali
Zona 12	UABC Facultad Ciencias Administrativas

Fuente: (CESPM, 2010)

Según el Reporte Anual de Consumos Facturados por Agua Residual del Año 2010, solo el 61.33% de los usuarios paga por el servicio que recibe. Ya que de las 75 cuentas registradas con consumo de agua regenerada, 30 se encuentran aún a nombre de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, lo cual significa que la misma comisión cubre dichos consumos.

Consumos en m³/día/superficie en la localidad

De acuerdo al Ing. Herón Vera Villalobos (2009), para la ciudad de Mexicali se requiere .007 m³ de agua para regar 1 m² de área verde al día. Con respecto a los establecimientos de autos, entrevistado anónimo comenta consumir en promedio 4.50 m³ diarios de agua para brindar el servicio de lavado.

b. Sondeo

Para conocer la percepción del reúso del agua en la comunidad mexicalense, se procedió a realizar un estudio de mercado e investigación profunda con expertos en el reúso de aguas residuales tratadas.

Encuestas

El uso actual que se le da a las aguas regeneradas de Mexicali es el de riego de áreas verdes en camellones y algunos parques industriales. La intención del primer sondeo fue saber la cantidad de gente que concibe este reúso como factible y su disposición para llevarlo a cabo. Este primer sondeo se realizó a través del portal de Facebook, publicando la siguiente pregunta: “¿Estarías dispuesto a utilizar agua residual tratada para regar el jardín de tu casa?” La pregunta fue publicada durante 3 días en el muro y fue contestada por 47 personas, de las cuales 44 contestaron que sí estarían dispuestos a utilizar aguas residuales tratadas para regar el jardín de su casa. El resto contestó que no.

Posteriormente se realizó una encuesta de 19 preguntas a una muestra no representativa en la ciudad de Mexicali, la cual fue aplicada vía Internet. Un total de 86 personas fueron encuestadas.

Las características de los encuestados, mostradas en su totalidad en la tabla 24, fueron en su mayoría personas de entre 21 y 29 años del sexo masculino con estudios de licenciatura. La ubicación de estas personas se distribuye en 52 colonias de la ciudad de Mexicali.

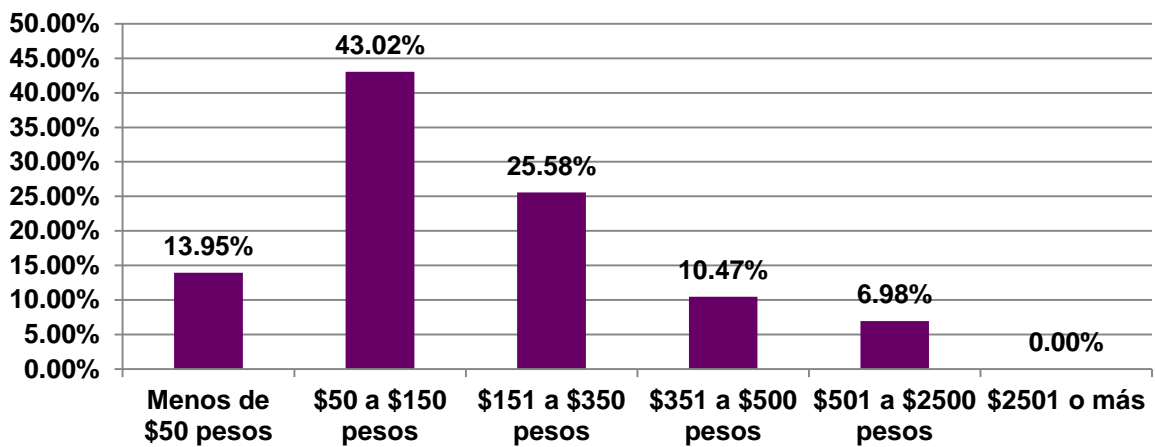
Tabla 24.- Características generales de la muestra no representativa.

Características		Cantidad	%
Sexo	Mujer	40	46.51%
	Hombre	46	53.49%
Edad	Menos de 20	4	4.65%
	21 a 29	51	59.30%
	30 a 39	16	18.60%
	40 a 49	8	9.30%
	50 a 59	7	8.14%
	60 o mas	0	0.00%
Escolaridad	Primaria	0	0.00%
	Secundaria	0	0.00%
	Preparatoria	3	3.49%
	Licenciatura	60	69.77%
	Posgrado	23	26.74%

Fuente: (Varios, 2011)

El 79.07% de la muestra cuenta con jardín en su casa o negocio. Mientras que el 84.88% cuenta con áreas verdes en su colonia. Según la encuesta, la comunidad piensa que el pago por consumo de agua es justo y mensualmente pagan aproximadamente como se muestra en la gráfica 5.

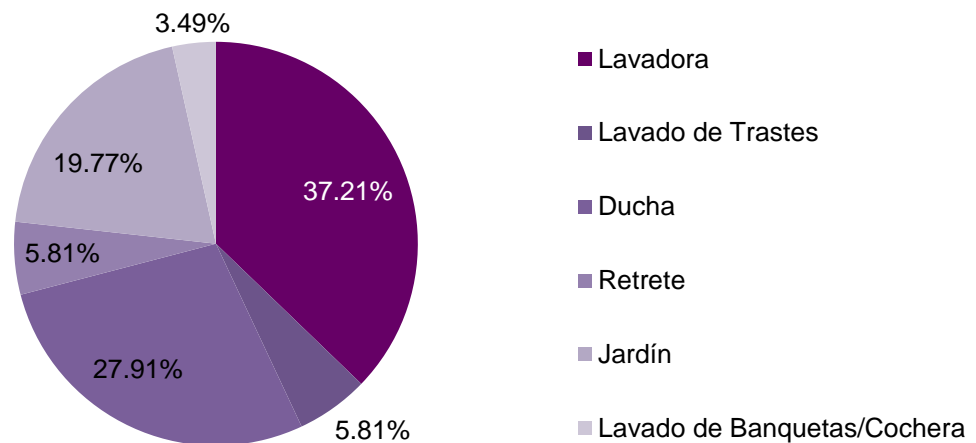
Gráfica 5.- Pago mensual por consumo de agua potable.



Fuente: (Varios, 2011)

La gente dice gastar la mayor cantidad de agua potable en el uso de la lavadora, la ducha y el riego de jardines.

Gráfica 6.- Consumo de agua potable por actividad.



Fuente: (Varios, 2011)

En cuanto al conocimiento de la muestra con respecto a la regeneración de agua en Mexicali, el 72.09% dice conocer el término de agua regenerada, pero el 86.05% dice no conocer las leyes, normas y reglamentos que regulan el reúso de aguas residuales tratadas en México. El 65.12% no conoce el proyecto de la línea morada de la CESPM.

En materia de infraestructura e inversión para el reúso de aguas residuales tratadas, el 90.7% de los encuestados invertirían en infraestructura para reusar el agua. El 80.23% estaría dispuesto a pagar de \$500 a \$950 pesos en derechos de conexión al servicio de agua regenerada.

En cuanto a los incentivos por el uso de agua regenerada, al 60.47% le gustaría recibir descuentos en el consumo de agua potable y agua regenerada por utilizar agua regenerada.

Después de conocer el precio por metro cubico de las tres tarifas, agua potable para uso doméstico, no doméstico y agua regenerada, el 100% de la muestra dice utilizaría agua regenerada para la limpieza externa de su hogar, mientras que el 95.35% utilizaría agua regenerada para lavar su automóvil.

Entrevistas

Así mismo, se realizaron entrevistas a trabajadores de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali, con el fin de saber cuál era la postura de la comisión con respecto al reúso y cuál es la demanda que ellos han identificado durante la evolución del proyecto de la línea morada. De entre la información obtenida de cada entrevista, sobresale la siguiente:

Ing. Antonio Hernández *Subdirección de Agua y Saneamiento de CESPM*

- La planta de tratamiento terciario de Zaragoza empezó como un experimento, del cual no se tenía planeado nada de lo que ha sucedido hasta la fecha.

- Actualmente, Mexicali no tiene demanda de agua regenerada; a veces tenemos que desperdiciarla.
- El nivel de cultura del agua en Mexicali es muy bajo; la gente piensa que el agua nunca se va a acabar; no saben ni siquiera de donde viene y a dónde va el agua que utilizan.
- El principal problema del agua residual tratada es que la gente no quiere utilizarla.

Ing. Jesús Ayala *Subdirección Comercial CESPM*

- No existe un presupuesto de lo que puede costar un proyecto integral de reúso de aguas residuales tratadas; ni siquiera existe un presupuesto de lo que ya se construyó.
- La CESPМ, como ha podido, ha echado a andar el proyecto de reúso de aguas residuales tratadas, como parte de su aportación al mejoramiento del medio ambiente.
- La mayoría de las cuentas que consumen agua regenerada son financiadas por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali.

Ing. Ricardo Hernández Morelos *Proyectos Especiales CESPМ*

- Existe un potencial de reúso de aguas residuales tratadas no explotado en la ciudad de Mexicali.
- CESPМ tiene planes de aumentar el efluente de agua residual tratada, aumentando el número de plantas de tratamiento terciario.

Las percepciones anteriores sirvieron para montar un panorama de la reutilización de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali.

Fase 2. Mercado Potencial

a. Listado Preliminar

Tomando en cuenta la investigación de campo y bibliográfica se realizó un listado preliminar de usuarios potenciales para el reúso de aguas residuales tratadas en la ciudad de Mexicali. Se considera este paso como una lluvia de ideas, no teniendo importancia si la propuesta parece ilógica o incoherente, lo importante era enlistarla para después analizar su viabilidad.

- Abastecimiento de fuentes.
- Consumo humano.
- Lavado de automóviles
- Limpieza de calles
- Limpieza y riego de exteriores en el hogar.
- Limpieza de gasolineras.
- Riego agrícola.
- Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
- Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.
- Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles
- Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.
- Riego de campos de golf.
- Riego de maceteros públicos.
- Riego y limpieza en cementerios.
- Sistema contra incendios
- Sistemas de enfriamiento industrial.
- Uso en excusados.
- Recarga de acuíferos
- Áreas de conservación municipal.

- Abastecimiento de lagos y humedales.
- Uso en regaderas
- Industria termoeléctrica
- Deportes acuáticos

b. Priorización de Alternativas

La priorización de las alternativas de reúso descritas anteriormente se llevó a cabo utilizando los criterios de priorización marcados por el capítulo 3, tal y como lo muestra la tabla 12.

La tabla 25 muestra el resumen del puntaje obtenido por cada una de las alternativas. Solo 12 de las 22 alternativas propuestas obtuvieron el puntaje requerido para ser analizadas en el resto del estudio.

c. Localización geográfica

Posteriormente se procedió a localizar las siguientes alternativas dentro del área de estudio definida:

- Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.
- Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.
- Lavado de automóviles .
- Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
- Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.
- Riego y limpieza en cementerios.
- Sistema contra incendios.

Tabla 25.- Resumen de puntuación de priorización de alternativas de uso de agua regenerada

Alternativa	Puntos
Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.	39
Industria termoeléctrica	38
Áreas de conservación municipal.	35
Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.	34
Lavado de automóviles	32
Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.	32
Limpieza y riego de exteriores en el hogar.	31
Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles	30
Riego de campos de golf.	30
Riego y limpieza en cementerios.	30
Sistema contra incendios	30
Abastecimiento de lagos y humedales.	30
Sistemas de enfriamiento industrial.	28
Abastecimiento de fuentes.	27
Riego agrícola.	27
Limpieza de calles	26
Limpieza de gasolineras.	26
Riego de maceteros públicas.	26
Recarga de acuíferos	25
Deportes acuáticos	25
Uso en excusados.	21
Uso en regaderas	19
Consumo humano.	18

Fuente: Elaboración Propia

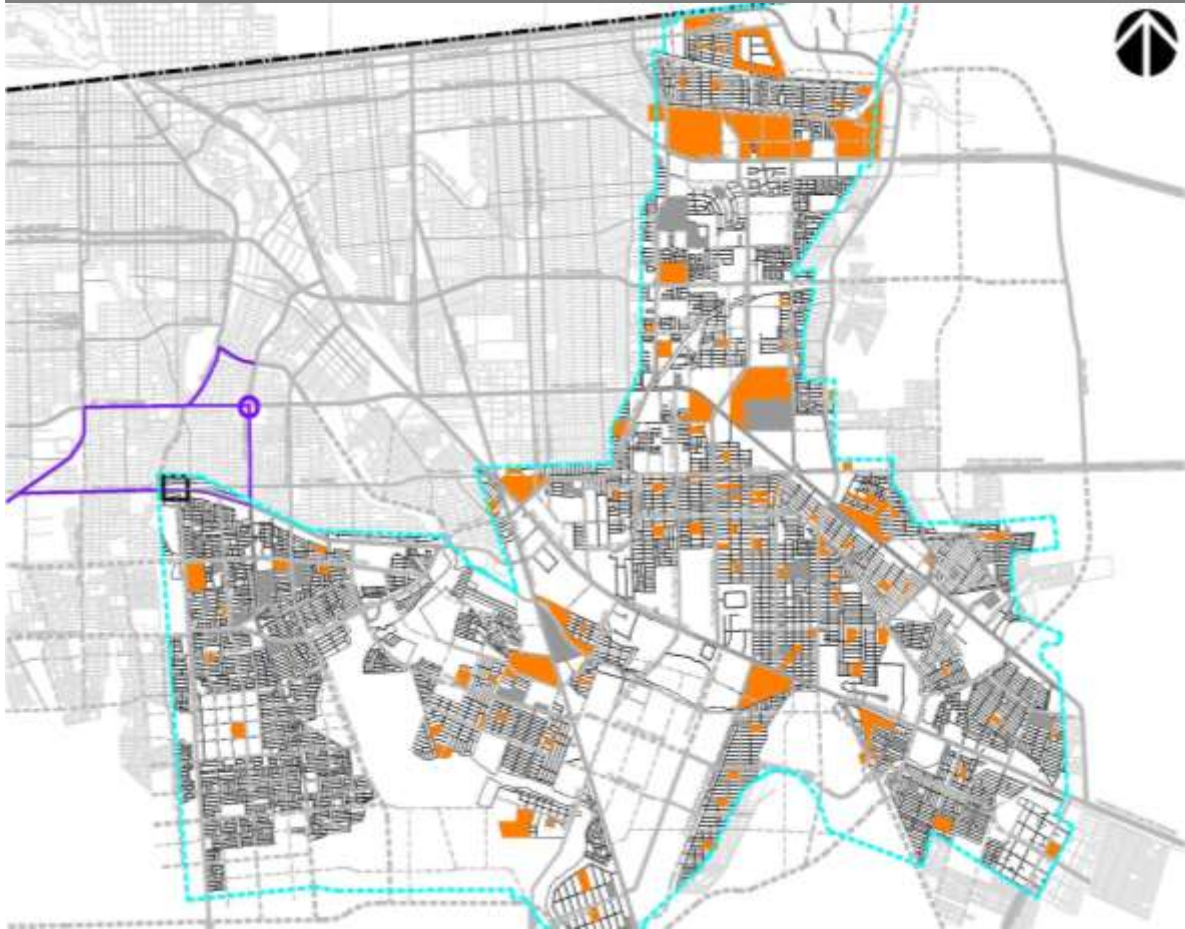
d. Localización geográfica

Posteriormente se procedió a localizar las siguientes alternativas dentro del área de estudio definida:

- Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.
- Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.
- Lavado de automóviles .
- Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
- Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.
- Riego y limpieza en cementerios.
- Sistema contra incendios.

Las alternativas de reúso en la industria termoeléctrica, áreas de conservación municipal, campos de golf, abastecimiento de lagos y humedales no fueron localizadas en el área de estudio debido a su inexistencia dentro de la misma. Igualmente se omitió la localización en el área de estudio del uso de agua regenerada para limpieza y riego de exteriores en el hogar, ya que se sabe que el costo del agua potable para uso doméstico es menor al del agua regenerada, y por lo tanto resulta menos factible su aceptación por parte del público. Sin embargo, en un futuro pudieran ser consideradas.

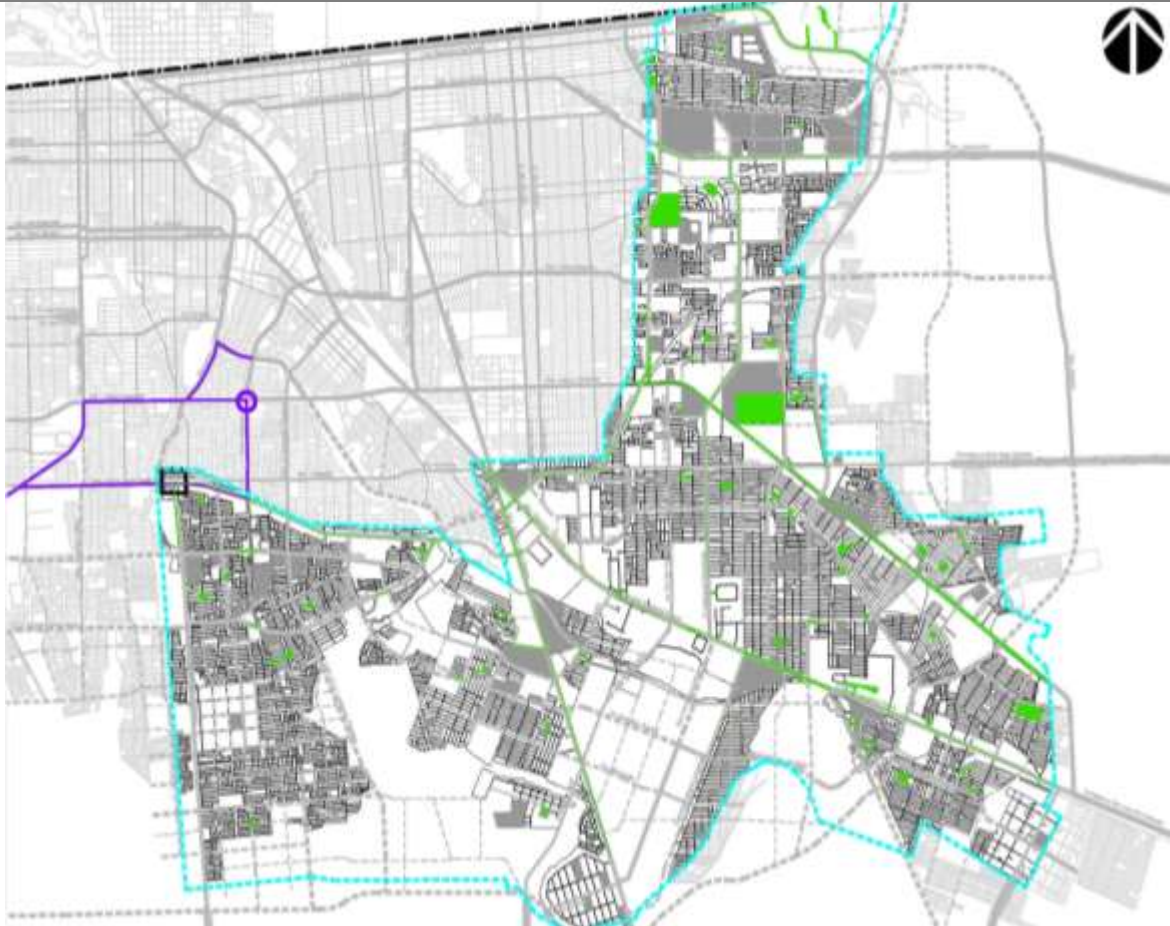
Figura 8.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.



Fuente: (INEGI, 2009)

108 áreas de equipamiento escolar fueron ubicadas dentro del área de estudio.

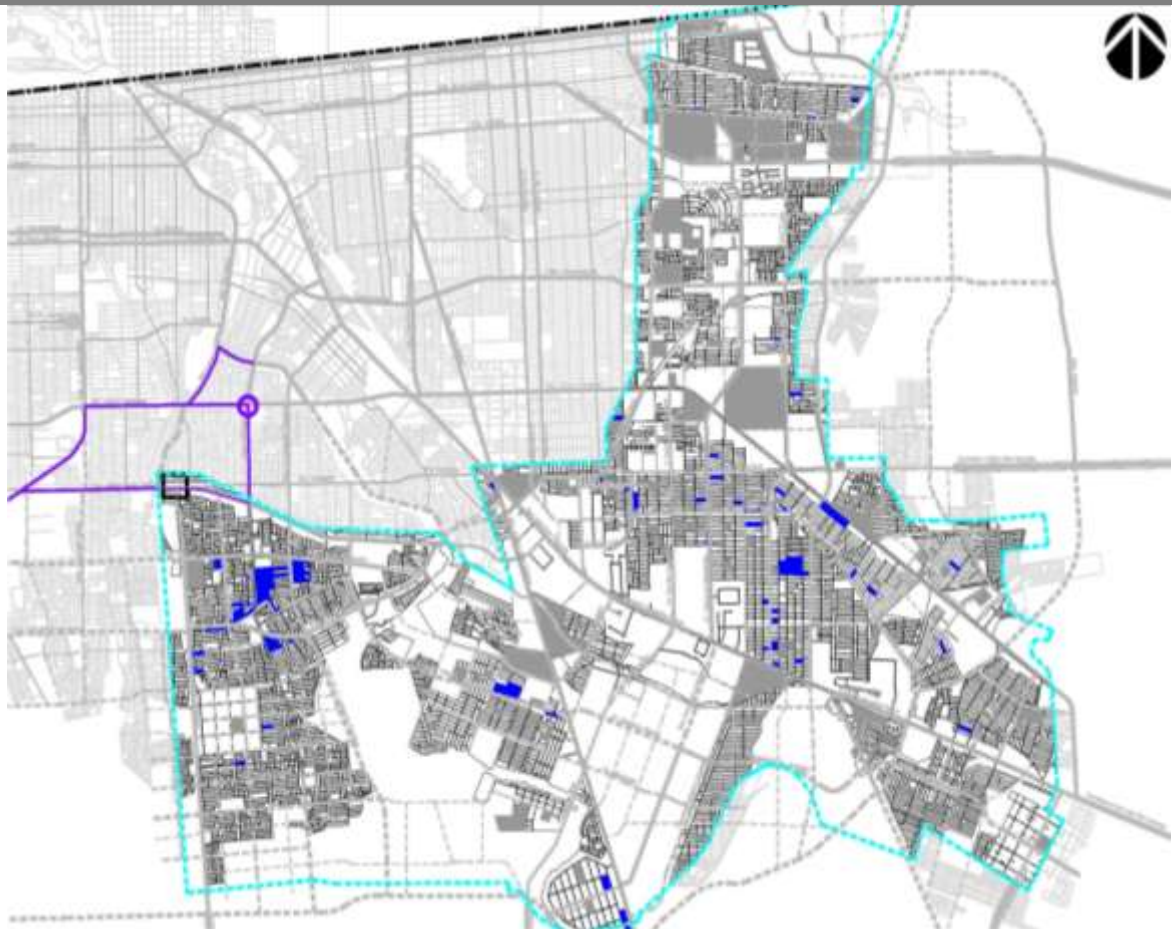
Figura 9.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se ubicaron 319 áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento dentro del área de estudio.

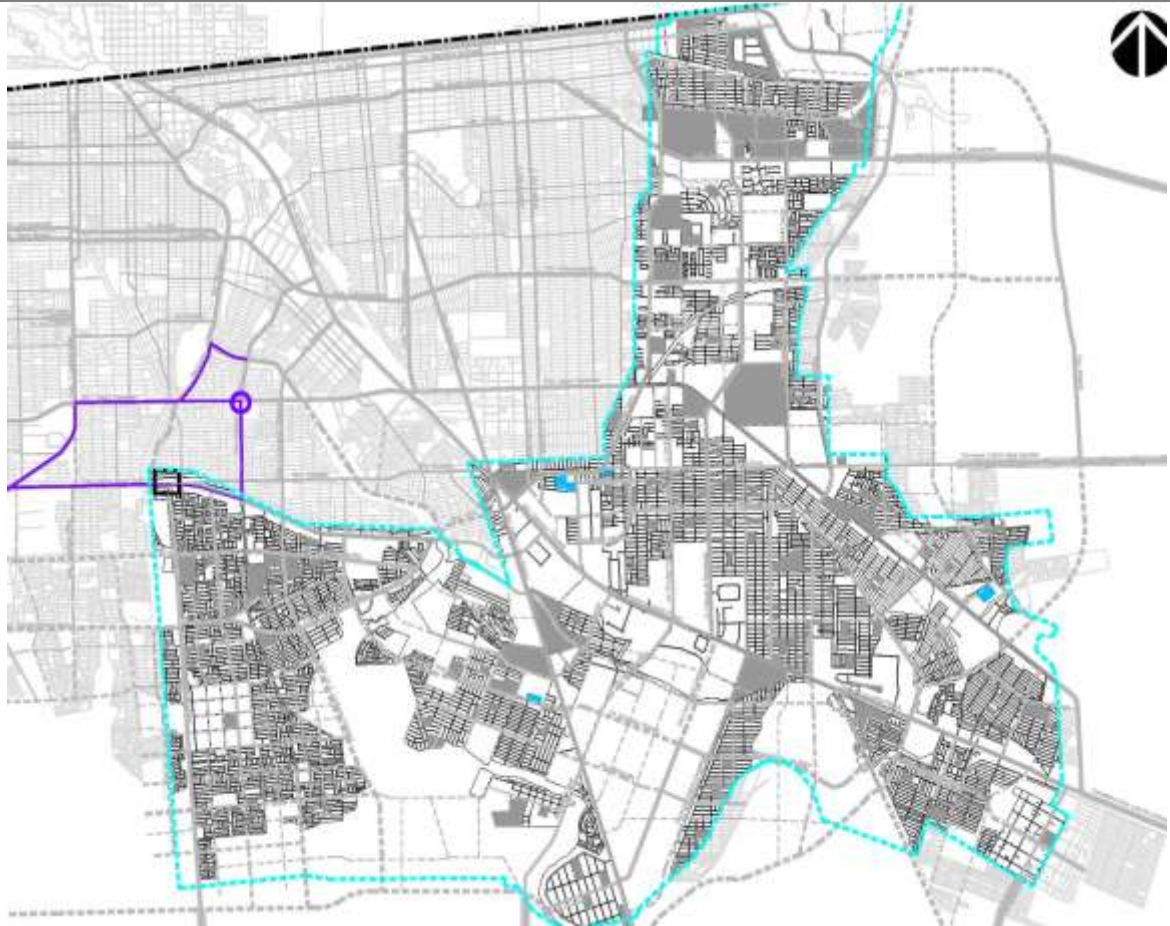
Figura 10.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para uso en el lavado de automóviles.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se localizaron 51 establecimientos de servicio de lavado de autos dentro del área de estudio.

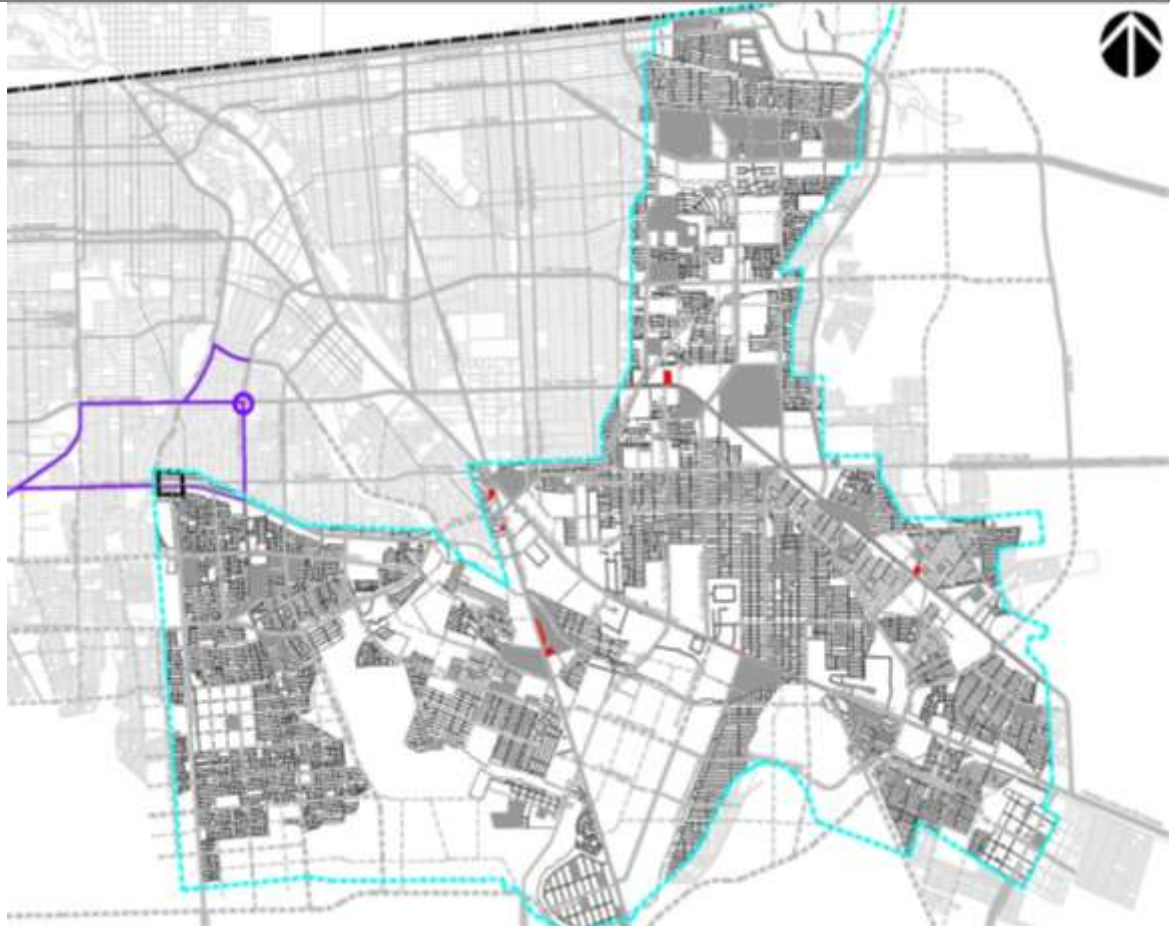
Figura 11.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se ubicaron 9 áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo dentro del área de estudio.

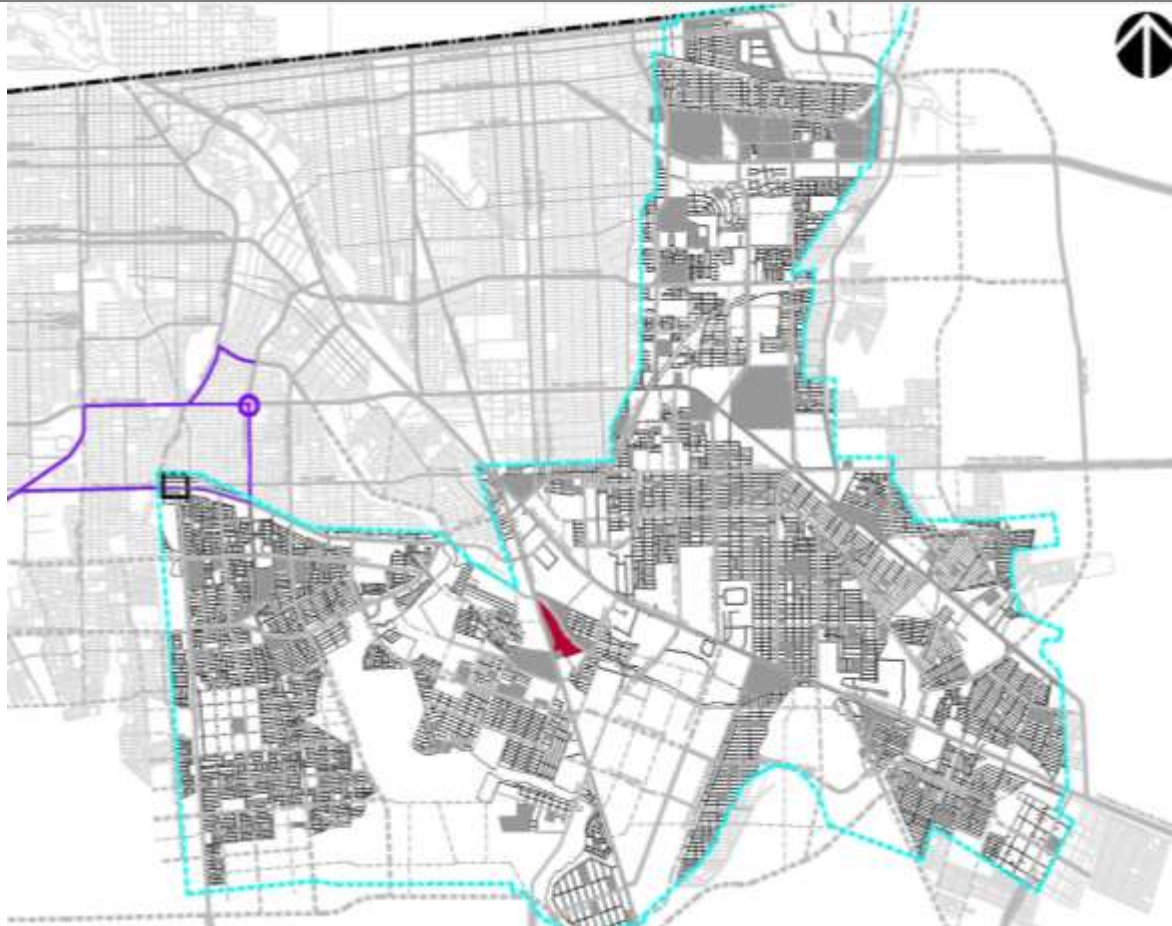
Figura 12.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes en hoteles y moteles.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se ubicaron 7 áreas verdes hoteles y moteles dentro del área de estudio.

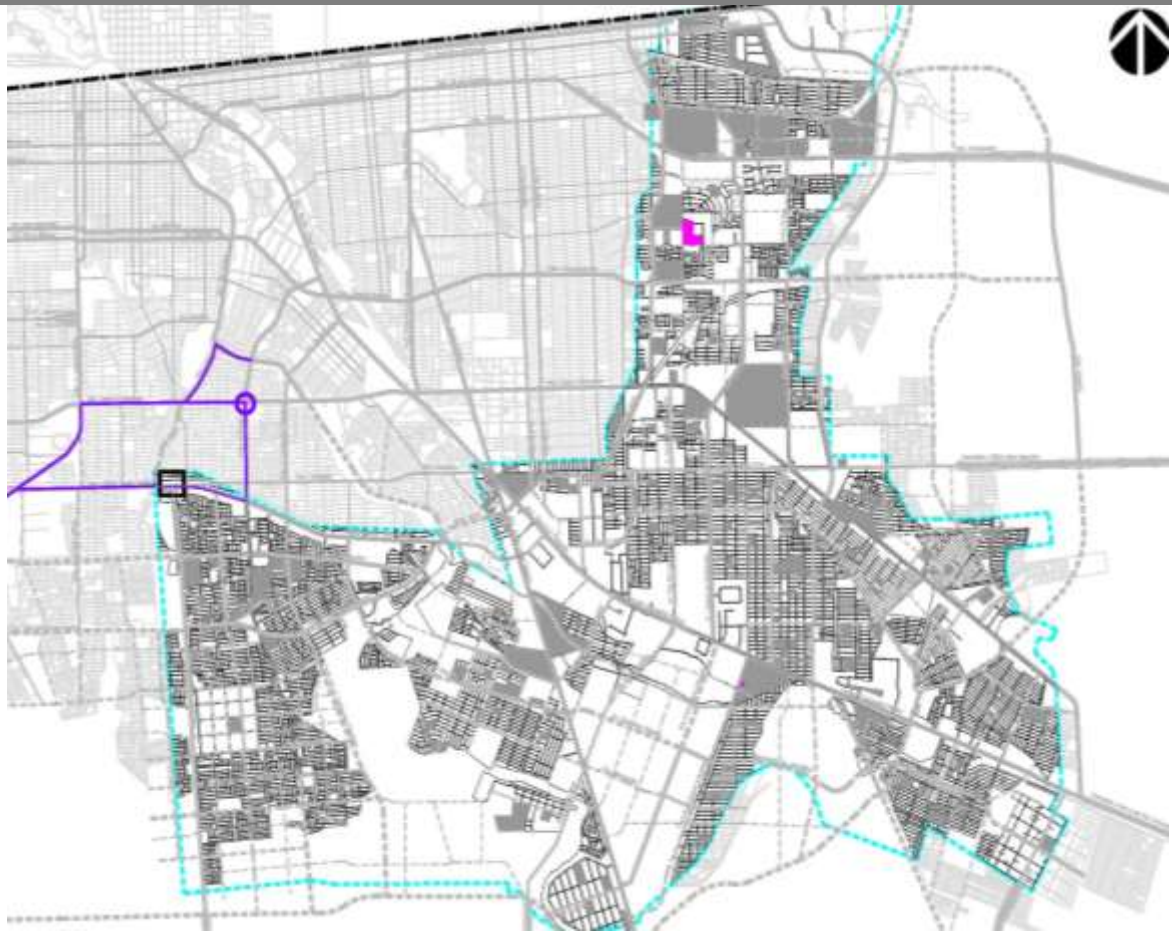
Figura 13.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para riego y limpieza en cementerios.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se ubicó 1 cementerio dentro del área de estudio.

Figura 14.- Localización geográfica de usuarios potenciales de agua regenerada para uso en el sistema contra incendio municipal.



Fuente: (INEGI, 2009)

Se ubicó 1 estación de bomberos dentro del área de estudio.

En total se localizaron 496 usuarios potenciales de agua regenerada para riego de áreas verdes y limpieza, entre otros.

Tabla 26.- Resumen de usuarios potenciales de agua regenerada ubicados en el área de estudio de la investigación.

Alternativa	Usuarios Potenciales
Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.	108
Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.	319
Lavado de automóviles	51
Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.	9
Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.	7
Riego y limpieza en cementerios.	1
Sistema contra incendios.	1
TOTAL	496

Fuente: (INEGI, 2009)

e. Procesamiento de Información

Sabiendo la localización geográfica de cada uno de los usuarios potenciales de agua regenerada se procedió a calcular la superficie de área verde, riego o posible limpieza de cada uno de los usuarios. La tabla 5 muestra el resumen de las superficies por alternativa. Es posible consultar las superficies de cada usuario en los anexos de esta investigación.

En total, 6,949,193.97 m² de superficie del área de estudio, es decir el 7.92% de ella, pudieran ser atendidos con agua regenerada para cubrir su demanda de agua potable.

Tabla 27.- Superficie total de área verde, riego o posible limpieza por usuario potencial por alternativa.

Alternativa	Superficie (m ²)
Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.	5,262,268.66
Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.	1,359,682.76
Lavado de automóviles	N/A
Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.	168,008.65
Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.	12,342.68
Riego y limpieza en cementerios.	146,891.22
Sistema contra incendios.	N/A
TOTAL	6,949,193.97

Fuente: (INEGI, 2009)

Fase 3. Análisis del Mercado Potencial

Conociendo la superficie posible a utilizar agua regenerada de cada usuario, y contando con datos de contacto de cada uno de los usuarios potenciales, se procedió a consultarles acerca de su consumo mensual de agua potable. En algunos casos, el consumo fue calculado de acuerdo a consumos estándares definidos en la metodología de esta investigación.

Se obtuvo entonces que la demanda potencial total diaria de consumo de agua regenerada en el área de estudio es de 46,829.88 m³, o bien 541.82 lps.

Tabla 28.- Superficie total de área verde, riego o posible limpieza por usuario potencial por alternativa.

Alternativa	Superficie (m ²)	Consumo (m ³)
Riego de áreas verdes en jardín de niños, escuelas primarias, escuelas secundarias, educación media y superior.	5,262,268.66	34,975.55
Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.	1,359,682.76	9,517.78
Lavado de automóviles	N/A	229.50
Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.	168,008.65	940.85
Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.	12,342.68	86.40
Riego y limpieza en cementerios.	146,891.22	1,028.24
Sistema contra incendios.	N/A	51.56
TOTAL	6,949,193.97	46,829.88

Fuente: (INEGI, 2009) (Vera Villalobos, 2009)

Sabiendo el consumo de cada usuario potencial se procedió a proyectar la ampliación de la línea morada existente, la cual pudiera dar servicio a esta demanda de agua regenerada.

La figura 15 muestra las 138 áreas tributarias definidas para el cálculo de nodos y líneas de abastecimiento de agua regenerada. El área tributaria es la superficie de influencia total a suministrar con agua regenerada.

Posteriormente se calculó el consumo de agua regenerada en litros por segundo por área tributaria definida. El listado detallado de consumos puede encontrarse anexo a esta investigación.

Después se determinó la red de ampliación de la línea morada. La línea cuenta con 105 nodos, los cuales se muestran en la figura 16.

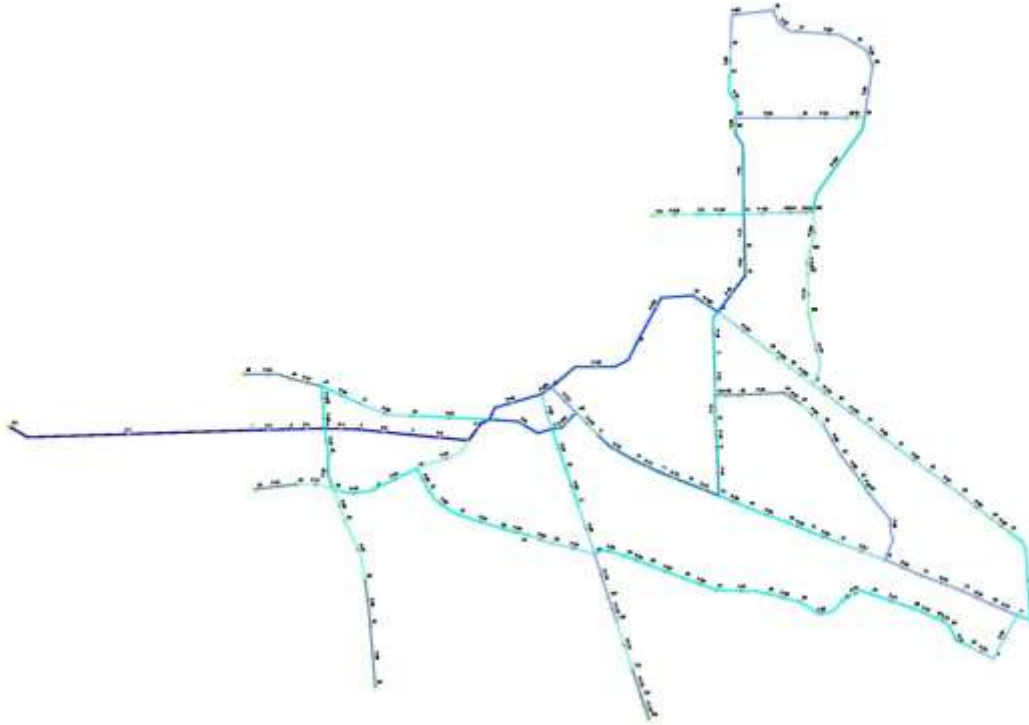
Finalmente se calculan los diámetros de tubería para abastecer la demanda de agua regenerada. La figura 17 muestra la ampliación propuesta del proyecto morado.

Figura 15.- Áreas tributarias definidas en el área de estudio.



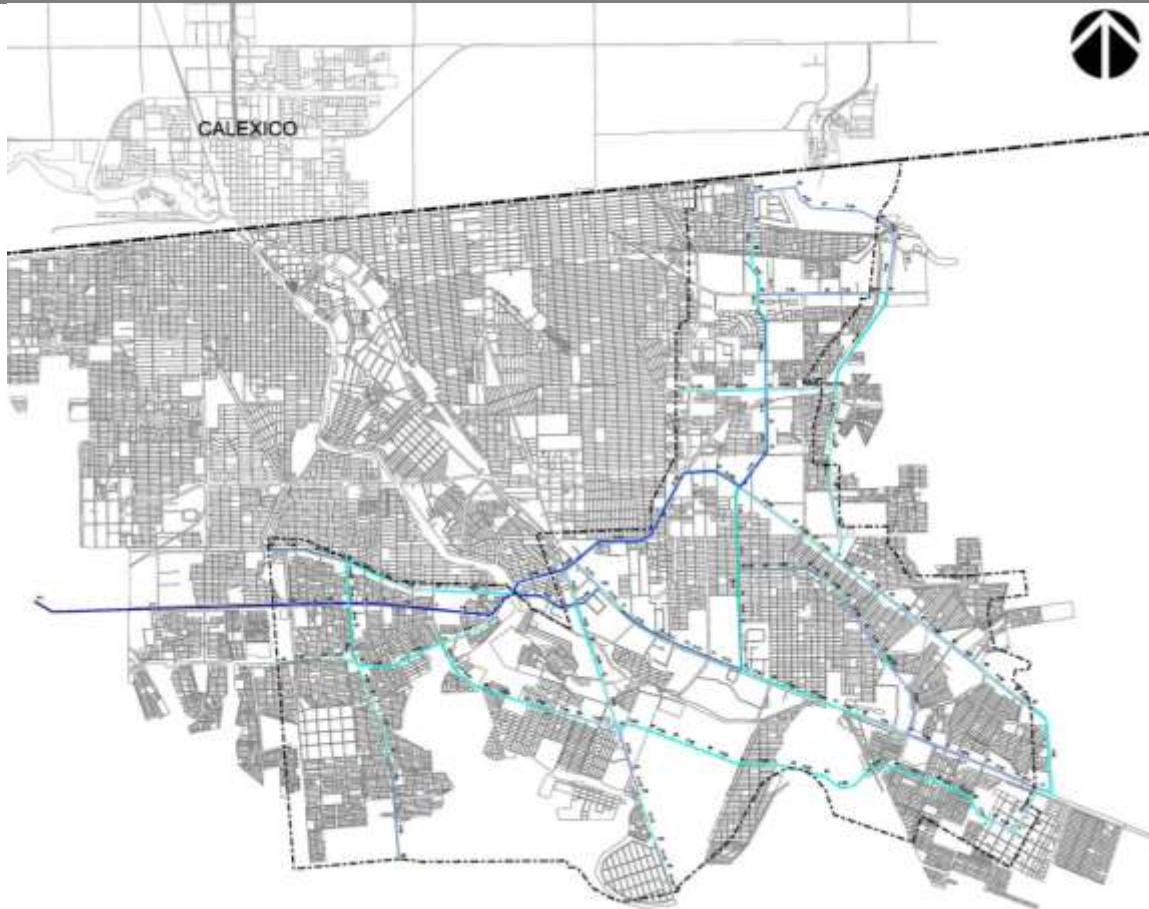
Fuente: Elaboración Propia

Figura 16.- Nodos definidos por área tributaria.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17.- Ampliación de Línea Morada propuesta.



Fuente: Elaboración Propia

Para la ampliación del proyecto de línea morada que cubre la demanda del mercado potencial analizado en el área de estudio se plantea un total de 93,092.33 metros de tubería, con una inversión total de \$151, 835,159.33 pesos mexicanos. La tabla 29 muestra los diámetros, longitudes y precios unitarios considerados para el cálculo de la inversión total del proyecto.

Tabla 29.- Presupuesto de ampliación proyecto Línea Morada en Mexicali, B.C. (incluye material y mano de obra.)

DIAM.	LONG.	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
4 in	6,495.29	m	\$430.56	\$2,796,612.06
6 in	8,402.12	m	\$624.00	\$5,242,922.88
8 in	13,345.06	m	\$777.73	\$10,378,880.20
10 in	14,703.55	m	\$1,070.16	\$15,735,095.19
12 in	22,379.33	m	\$1,265.27	\$28,315,939.63
14 in	4,997.20	m	\$1,405.19	\$7,022,017.47
16 in	2,384.76	m	\$1,813.42	\$4,324,561.94
18 in	551.38	m	\$2,381.60	\$1,313,168.81
20 in	4,566.51	m	\$2,705.51	\$12,354,720.20
24 in	6,587.34	m	\$3,562.63	\$23,468,268.28
30 in	4,413.50	m	\$4,248.40	\$18,750,313.40
36 in	4,266.29	m	\$5,187.80	\$22,132,659.26
	93,092.33			\$151,835,159.33

Fuente: Elaboración Propia, (Vera Villalobos, 2009)

Fase 4. Evaluación de Costo-Beneficio

El análisis costo beneficio se realizó con el fin de comprobar la viabilidad y rentabilidad del suministro de agua regenerada a los usuarios potenciales identificados en las fases anteriores.

Se define un horizonte de tiempo de 15 años para el análisis, de 2010 al 2025, ya que la planeación del centro de población de Mexicali se encuentra realizada hasta ese año. Se considera una tasa de inflación del 4.25%, la cual es el promedio de la inflación presentada de 2005 a 2009. La tasa de descuento actual para nuestro país es del 12%.

En general, se definen los siguientes parámetros para el proyecto:

- Tarifa 2010 del Agua Regenerada Línea Morada **\$8.92Pesos/m³**
Fuente: Ley de Ingresos 2010
- Tarifa 2010 promedio del Agua Potable Uso Doméstico **\$7.78 Pesos/m³**
Fuente: Consultas en Línea. Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx
- Tarifa 2010 promedio del Agua Potable Uso No Doméstico **\$30.82 Pesos/m³**

Fuente: Consultas en Línea. Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx

- Incremento de la tarifa de Agua Regenerada **7.00%/año**

Fuente: Ley de Ingresos del Estado de Baja California para los ejercicios 2008 al 2011

- Incremento de demanda potencial **0.03%/año**

Fuente: Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población 2025

- Costo potabilización del agua **\$11.24 Pesos/m³**

Fuente: Ley de Ingresos 2010

- La vida útil de la tubería para línea morada (PVC Clase 100 y 165 DR 25 ESP AWWA C-900 y C-905) es de 100 años.

Para calcular la demanda potencial de agua regenerada de los usuarios se asumió que el consumo de agua para el riego de áreas verdes es de 0.007 m³/m² (InfoJardín, 2005), quedando como se muestra en la tabla 29.

Tabla 30.- Demanda potencial uso de agua regenerada en la ciudad de Mexicali	
Usuario	Demanda Potencial Estimada (m ³ /año)
Equipamiento Escolar	12,766,074.82
Equipamiento Deportivo	343,409.68
Otras Áreas Verdes	3,473,989.45
Lavado de Autos	83,767.50
Hoteles y Moteles	31,535.53
Cementerios	375,307.06
Sistema Contra Incendios	18,821.16
Demanda Potencial Total (m³/año)	17,092,905.21

Fuente: (Gobierno Municipal de Mexicali, 2005) (Varios, 2011) (INEGI, 2009)

Se consideraron los costos de tratamiento, bombeo, operación y mantenimiento mostrados en la tabla 30.

Tabla 31- Costos de tratamiento y bombeo agua regenerada en línea morada CESPM	
Concepto	Costo (m ³ /año)
Tratamiento Químico	\$2.64
Energía Eléctrica	\$1.11
Operador	\$0.51
Supervisión	\$0.29
Guardia	\$2.34
Mantenimiento	\$0.64
Costo Total Tratamiento y Bombeo (m³/año)	\$7.53

Fuente: (CESPM C. E., 2010)

Tabla 32.- Costos de operación y mantenimiento línea morada CESPM	
Concepto	Costo (m ³ /año)
Operador	\$0.48
Supervisión	\$0.28
Mantenimiento	\$0.61
Costo Total Operación y Mto. (m³/año)	\$1.37

Fuente: (CESPM C. E., 2010)

Los análisis financiero y económico aportan la prueba previa pertinente en el marco del método del flujo de efectivo y del análisis de la relación costo-beneficio.

Análisis Financiero

Se observa que la TIR obtenida del análisis financiero rebasa la tasa de descuento, por lo tanto el proyecto de ampliación de la línea morada para suministro de agua regenerada a los mercados potenciales identificados representa un beneficio económico para el organismo administrador del agua en la ciudad. Sin embargo, se observa que la recuperación de la inversión se logra hasta el año diez.

Análisis Económico

Se observa que la TIR obtenida del análisis económico rebasa la tasa de descuento, por lo tanto el proyecto de ampliación de la línea morada para suministro de agua regenerada a los mercados potenciales identificados representa un beneficio económico y social para la comunidad.

Análisis Costo Beneficio

Nombre del Proyecto:	"Alternativas de uso de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali, B.C."		
Lugar del Proyecto:	Ciudad de Mexicali, Baja California, México.		
Elaborado por:	Ing. Tanya Piñera Palacios		
Revisado por:	Lic. Fabiola Maribel Denegri De Dios		
Fecha de Elaboración:	Diciembre 2010.		
Parámetros			
<i>Parámetros Generales</i>			
Horizonte de Tiempo	15 años		
Tasa de inflación	4.25% %	(Inflación promedio 2005-2009)	
<i>Parámetros del Proyecto</i>			
Tarifa 2010 del Agua Regenerada Línea Morada	\$ 8.92	Pesos/m ³	
Fuente: Ley de Ingresos 2010			
Tarifa 2010 promedio del Agua Potable CESPM Uso Doméstico	\$ 7.78	Pesos/m ³	
Fuente: Consultas en Línea, Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx			
Tarifa 2010 promedio del Agua Potable CESPM Uso No Doméstico	\$ 30.82	Pesos/m ³	
Fuente: Consultas en Línea, Calculadora de Consumo. www.cespm.gob.mx			
Incremento de la tarifa de Agua Regenerada	7.00%	/año	
Fuente: Ley de Ingresos del Estado de Baja California para los ejercicios 2008 al 2011			
Incremento de demanda potencial	0.03%	/año	
Fuente: Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población 2025			
Costo potabilización del agua	\$ 11.24	Pesos/m ³	
Fuente: Ley de Ingresos 2010			
Demanda Potencial Sistema Mexicali II CESPM			
Equipamiento Escolar			
Jardín de niños, Escuelas Primarias, Escuelas Secundarias, Educación Media y Superior.	Superficie		Demanda Potencial Estimada
	4,996,506.78	m ²	12,766,074.82 m ³ /año
Fuente: Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población 2025			
Equipamiento Deportivo			
Centro de Desarrollo Humano Integral, Unidades Deportivas (con o sin alberca)	Superficie		Demanda Potencial Estimada
	134,406.92	m ²	343,409.68 m ³ /año
Fuente: Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población 2025			
Otras Áreas Verdes			
Áreas verdes, jardines vecinales y camellones	Superficie		Demanda Potencial Estimada
	1,359,682.76	m ²	3,473,989.45 m ³ /año
Fuente: Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población 2025, Entrevista Director Pagos y Cobranzas IMDECUF			
Comercial e Industrial			
Lavado de Autos			Demanda Potencial Estimada
		83,767.50	m ³ /año
Hoteles y Moteles		31,535.53	m ³ /año
Cementerios		375,307.06	m ³ /año
Fuente: INEGI, DENUE			
Servicios Públicos			
Sistema Contra Incendios			Demanda Potencial
		18,821.16	m ³ /año
Fuente: Entrevista al Director del H. Cuerpo de Bomberos de Mexicali, Anuario Estadístico de Mexicali 2010. Gobierno del Municipio de Mexicali.			
Demanda Potencial Total de la Ciudad de Mexicali, B.C.	17,092,905.21	m³	
Costos tratamiento y bombeo agua Línea Morada			
Tratamiento Químico	\$ 2.64	/m ³ /año	
Energía Eléctrica	\$ 1.11	/m ³ /año	
Operador	\$ 0.51	/m ³ /año	
Supervisión	\$ 0.29	/m ³ /año	
Guardia	\$ 2.34	/m ³ /año	
Mantenimiento	\$ 0.64	/m ³ /año	
Fuente: Reporte Operativo 2010 Departamento Saneamiento CESPM			
Costos operación y mantenimiento Línea Morada			
Operador	\$ 0.10	/m ³ /año	
Supervisión	\$ 0.06	/m ³ /año	
Mantenimiento	\$ 0.13	/m ³ /año	
Vida Útil Tubería Línea Morada			
TUBERÍA DE PVC CLASE 100 DR 25 ESP. AWWA C-900		100 años	
TUBERÍA DE PVC CLASE 165 DR 25 ESP. AWWA C-905		100 años	
Fuente: Entrevista Ex Director Zona Comercial CESPM, Plano "Red Hidráulica Reutilización Agua Tratada, CESPM".			
Consideraciones			
Se considera que el riego de las áreas verdes consume 0.007 m ³ /m ²			
Fuente: http://forosarchivo.infojardin.com/cesped/t-153136.html			
Se considera que el costo del agua regenerada aumenta de acuerdo a la siguiente ecuación $y = 0.573x - 1142.9$, según las modificaciones al costo del agua regenerada a través del tiempo.			
Fuente: Ley de Ingresos para el Estado de Baja California para los ejercicios fiscales 2008, 2009, 2010 y 2011.			
Para estimación de demandas potenciales:			
Equipamiento Escolar	.=(superficie terreno - superficie construida) * 0.007 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente: Google Maps, INEGI 2010			
Equipamiento Deportivo	.=(superficie terreno - superficie construida) * 0.007 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente: IMDECUF, Google Maps, INEGI 2010			
Otras Áreas Verdes	.=(superficie área verde) * 0.007 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente: Google Maps, INEGI 2010			
Lavado de Autos	. =4.5 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente: Entrevista telefónica Propietario Flash Center Car Wash Express			
Hoteles y Moteles	.=(superficie terreno - superficie construida) * 0.007 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente:			
Cementerios	.=(superficie área verde) * 0.007 m ³ /día*30 días*12 meses		
Fuente:			
SCI	.=(número de servicios*máquinas utilizadas*700 gal*0.003785 m ³		
Fuente: Entrevista al Director del H. Cuerpo de Bomberos de Mexicali.			

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

Conclusiones y recomendaciones

El suministro de agua regenerada a la población del área de estudio definida a través de la ampliación de la línea morada existente en la ciudad de Mexicali es un proyecto factible y rentable que implica, además de una inversión económica significativa, la transformación socio-cultural, organizacional y tecnológica de la operación del servicio actual.

El manejo de los recursos hídricos de ahora corresponde más a un proceso lineal, en el cual el agua en su mayoría se distribuye, consume y desecha, con altas deficiencias, careciendo de un proceso de reintegración efectivo en la vida urbana.

Si se considera al agua residual como un recurso y no un residuo, en donde más que ser un estorbo es un beneficio para la sociedad, se pueden identificar tres aspectos fundamentales que representan la problemática de insustentabilidad del manejo de las aguas residuales tratadas. Primeramente, la planificación a corto plazo carente de una visión integral que abarque los objetivos sociales y ambientales relacionados con la administración del agua regenerada; en segundo, el uso ineficiente del efluente; y en tercero, la falta de corresponsabilidad en el manejo del agua regenerada. (Navarro Chaparro, 2010)

Escudarse en el hecho de que la sociedad no quiera utilizar el agua tratada es intolerable en tiempos de crisis ambiental. Es necesario establecer estrategias y políticas que lleven a proyectos como este a encontrar la aceptación de la mayor parte de la población.

En lo que refiere a la planificación a corto plazo carente de una visión integral, se reconoce que la administración y operación del servicio de agua regenerada en Mexicali se ha estructurado desde sus inicios sobre ideas

limitadas de sustentabilidad, emprendimiento e innovación. A seis años de su inicio, la línea morada aún se maneja como un proyecto piloto. Es decir, carece de una estructura fija y autosuficiente que opere y tome decisiones en cuanto al uso del agua regenerada.

Por otra parte, el monitoreo y control de calidad del agua regenerada sigue siendo deficiente. El efluente, aunque cumple con la mayoría de los límites máximos permisibles establecidos por la norma correspondiente, aun presenta altos niveles de sólidos suspendidos totales, lo cual representa un riesgo para la salud, y por lo tanto su imposible reúso.

El análisis costo-beneficio confirma que el beneficio que la ampliación de la línea morada representa más un beneficio social para la población que un beneficio económico para el organismo operador. Aun cuando puede llegar a ser un proyecto rentable a través del tiempo, se observa que la recuperación de la inversión inicial se genera a largo plazo. Sin embargo, sería importante evaluar si es más importante generar riqueza con la venta de agua regenerada o reducir el consumo de agua dulce para potabilización.

Se recomienda entonces que la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali cuente con un departamento de reúso del agua que trate única y exclusivamente los asuntos del tratamiento terciario y reúso del recurso, integrando el agua potable y el saneamiento en su visión operativa. Además, este departamento debe encargarse de la gestión entre los organismos e instituciones involucradas en la toma de decisiones acerca del mejoramiento de los procesos de tratamiento y reúso del agua.

Este mismo departamento deberá promover la cultura del uso de las aguas regeneradas ante la sociedad, así como dar a conocer el proyecto de la línea morada y buscar posibles oportunidades de mercado para la venta de agua

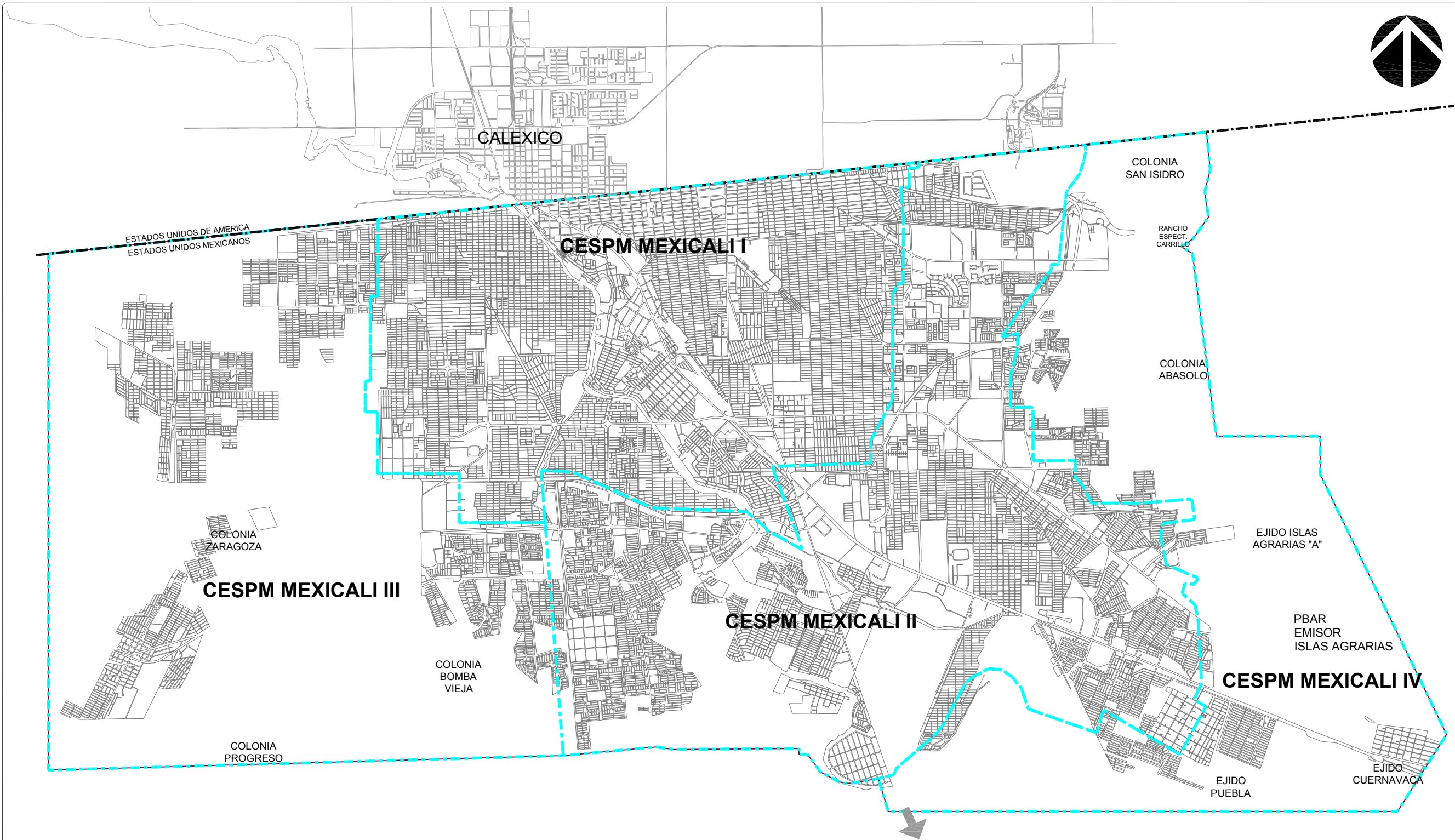
regenerada, así como incentivos y estrategias para su posición en el mercado. Uno de sus principales objetivos deberá ser generar y mantener la confianza del usuario y transformar el uso del agua regenerada en una necesidad.

La generación de la confianza en el servicio de agua regenerada deberá sustentarse en un producto de calidad, así como en un servicio libre de fallas. Esto implica una evaluación, y en su caso, modernización de los procesos de tratamiento de aguas residuales actuales.

ANEXOS

Listado de Planos

- AR-01 Sistema de Saneamiento de Mexicali, B.C.
- AR-02 Delimitación del Área de Estudio.
- AR-03 Línea Morada Existente.
- AR-04 Fuentes de Efluente Regenerado.
- AR-05 Mercado Potencial Uso de Agua Regenerada.
- AR-06 Riego de Áreas Verdes en Jardín de Niños, Escuelas Primarias, Escuelas Secundarias, Educación Media y Superior.
- AR-07 Riego de áreas verdes, jardines vecinales y camellones a cargo del ayuntamiento.
- AR-08 Lavado de automóviles.
- AR-09 Riego de áreas verdes en áreas de equipamiento deportivo.
- AR-10 Riego de áreas verdes y limpieza en hoteles, moteles.
- AR-11 Riego y limpieza en cementerios.
- AR-12 Sistema contra incendios.
- AR-13 Proyecto de Ampliación Línea Morada.
- AR-14 Imagen Línea Morada



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS RECONSTRUCION EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.

SIMBOLOGIA

- LÍMITE INTERNACIONAL
- - - LÍMITE SISTEMAS SANEAMIENTO CESPM

SISTEMA	SUPERFICIE
CESPM MEXICALI I	66,201,886.80
CESPM MEXICALI II	87,753,472.20
CESPM MEXICALI III	92,614,516.10
CESPM MEXICALI IV	66,680,188.60
SUPERFICIE TOTAL	313,250,063.70

SISTEMAS DE SANEAMIENTO MEXICALI, B.C.

FUENTE: CESPM 2009

CONTIENE: SISTEMAS DE SANEAMIENTO MEXICALI

REVISO: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS

CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS

DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

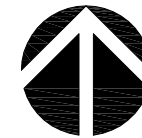
CLAVE: MYDPDS-AR-01

ESCALA: 1:40,000

FECHA: DICIEMBRE 2011




PLANO NO.

AR-01

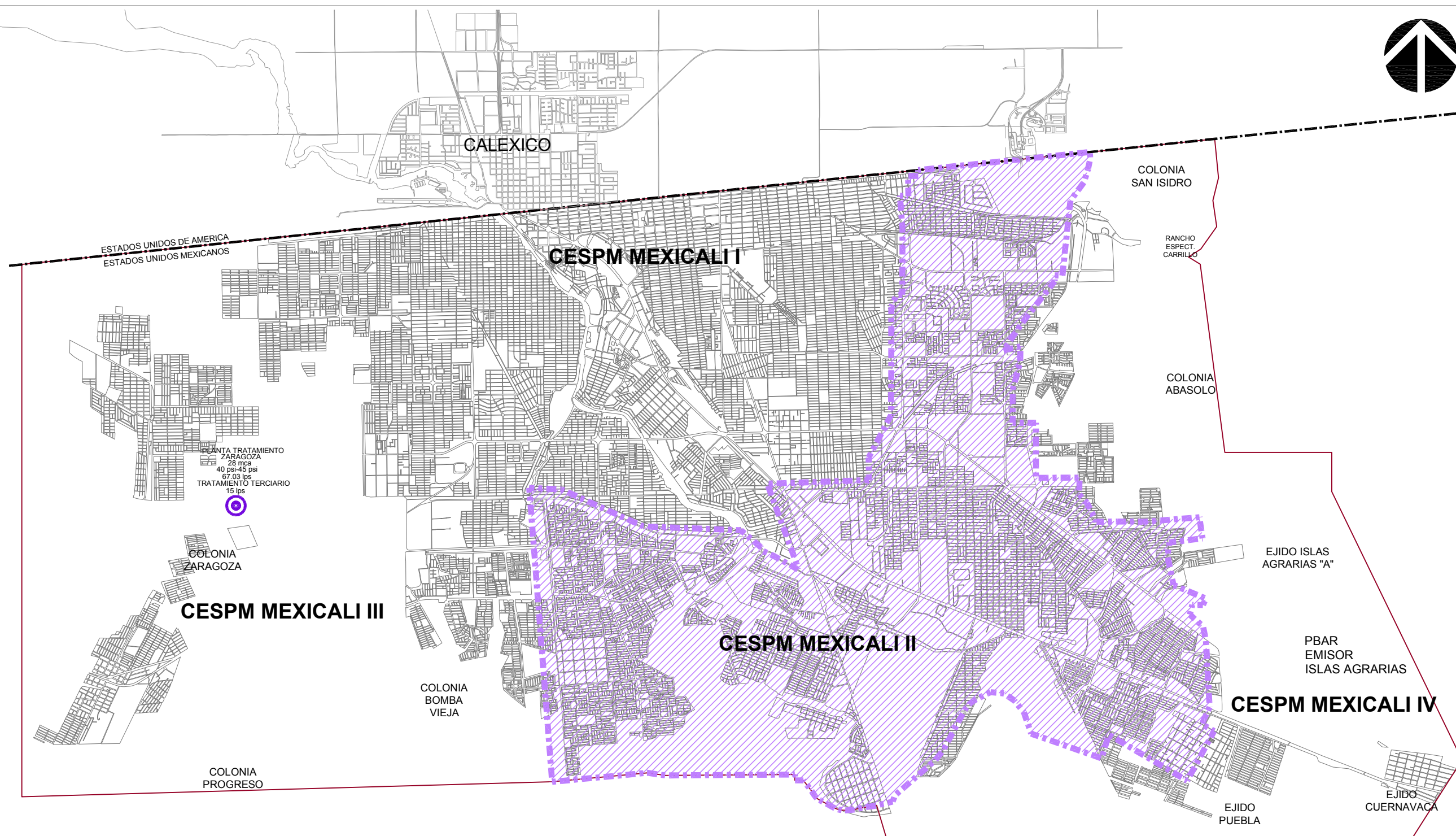


ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS RECONSTRUCIÓN EN LA CIUDAD DE MEXICALI, IC

SIMBOLOGIA

-  AREA DE ESTUDIO
-  LÍMITE INTERNACIONAL
-  PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR CESPM

ÁREA DE ESTUDIO SUPERFICIE
87,753,472.20



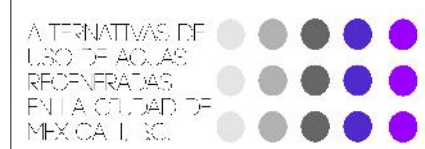
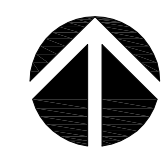
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

FUENTE:
CESPM 2009

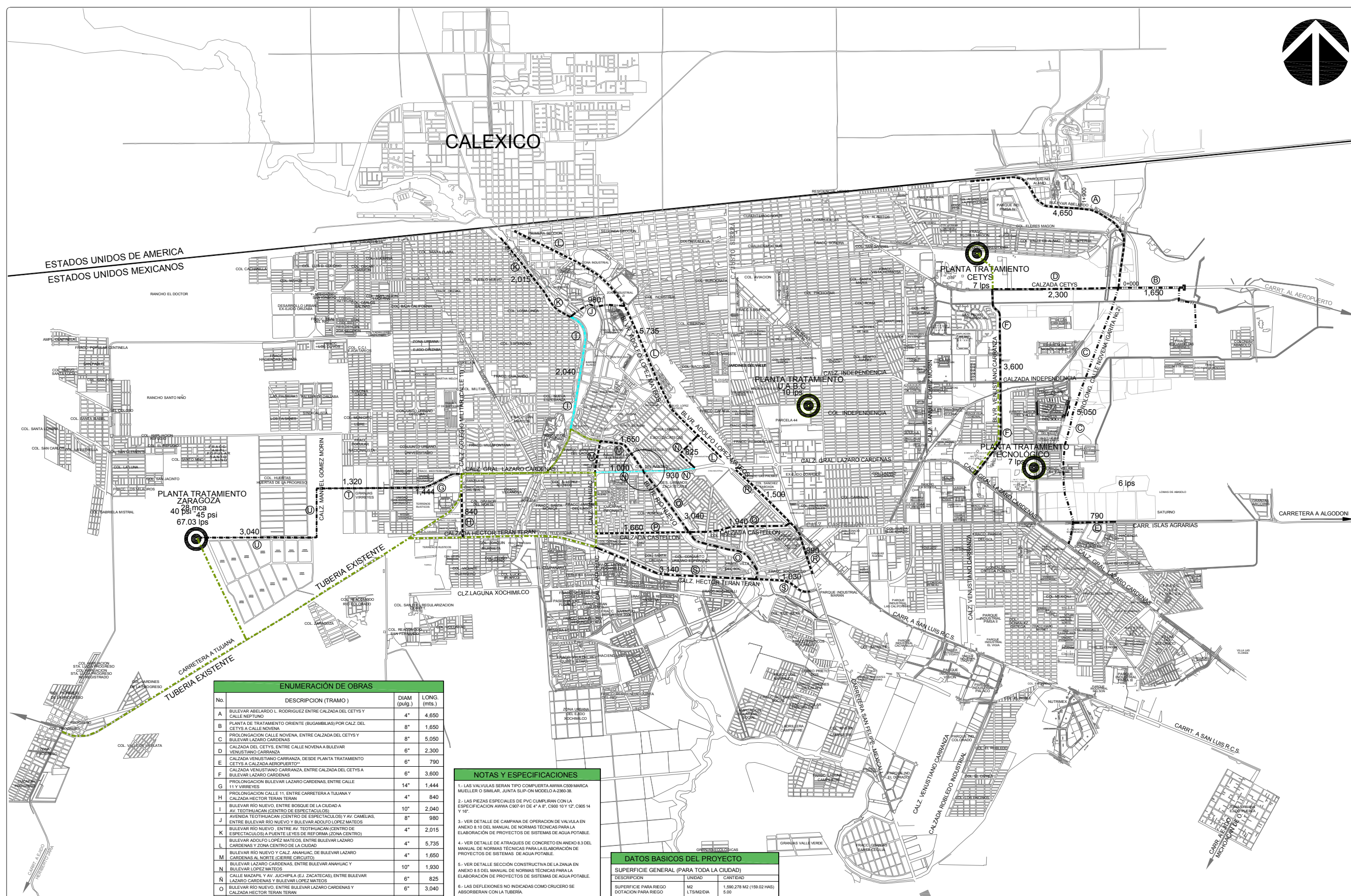
CONTIENE:
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

REVISO: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO: ING. HERÓN VERA VILLALOBOS
DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

CLAVE: MYDPDS-AR-02	PLANO NO. AR-02
ESCALA: 1:40,000	
FECHA: DICIEMBRE 2011	



CALEXICO



LEGENDA

TRAMOS DE TUBERIA		
DIAMETRO	PROYECTO	EXISTENTE O EN PROCESO
100mm (4")	---	---
150mm (6")	---	---
200mm (8")	---	---
250mm (10")	---	---
300mm (12")	---	---
350mm (14")	---	---
400mm (16")	---	---
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
⊙		

ESPECIFICACIONES

- LA TUBERIA SERA DE PVC ESPECIFICACION AWWA C-900-97 CLASE 100 DR25 HASTA DIAMETROS DE 300MM (12") Y DE COLOR MORADO PARA TUBOS DE AGUA TRATADA.
- LA TUBERIA SERA DE PVC ESPECIFICACION AWWA C-905-97 CLASE 165 DR25 PARA DIAMETROS DE 350MM (14") O MAYORES Y DE COLOR MORADO PARA TUBOS DE AGUA TRATADA.

CANTIDADES DE TUBERIA

DESCRIPCION	LONGITUD
TUBERIA DE PVC CLASE 100 DR 25 ESP. AWWA C-900 (COLOR MORADO)	
100mm (4") DE DIAMETRO	18,940
150mm (6") DE DIAMETRO	16,665
200mm (8") DE DIAMETRO	7,860
250mm (10") DE DIAMETRO	3,970
TUBERIA DE PVC CLASE 165 DR 25 ESP. AWWA C-905 (COLOR MORADO)	
350mm (14") DE DIAMETRO	2,764
400mm (16") DE DIAMETRO	3,040
TOTAL TUBERIA PVC=	53,059 m.l.

ENUMERACION DE OBRAS

No.	DESCRIPCION (TRAMO)	DIAM (pulg.)	LONG. (mts.)
A	BULEVAR ABELARDO L. RODRIGUEZ ENTRE CALZADA DEL CETYS Y CALLE NEPTUNO	4"	4,650
B	PLANTA DE TRATAMIENTO ORIENTE (BUGAMBILIAS) POR CALZ. DEL CETYS A CALLE NOVENA	8"	1,650
C	PROLONGACION CALLE NOVENA, ENTRE CALZADA DEL CETYS Y BULEVAR LAZARO CARDENAS	8"	5,050
D	CALZADA DEL CETYS, ENTRE CALLE NOVENA A BULEVAR VENUSTIANO CARRANZA	6"	2,300
E	CALZADA VENUSTIANO CARRANZA, DESDE PLANTA TRATAMIENTO CETYS A CALZADA AEROPUERTO**	6"	790
F	CALZADA VENUSTIANO CARRANZA, ENTRE CALZADA DEL CETYS A BULEVAR LAZARO CARDENAS	6"	3,600
G	PROLONGACION BULEVAR LAZARO CARDENAS, ENTRE CALLE 11 Y VIRREYES	14"	1,444
H	PROLONGACION CALLE 11, ENTRE CARRETERA A TIJUANA Y CALZADA HECTOR TERAN TERAN	4"	840
I	BULEVAR RIO NUEVO, ENTRE BOSQUE DE LA CIUDAD A AV. TEOHUACAN (CENTRO DE ESPECTACULOS)	10"	2,040
J	AVENIDA TEOHUACAN (CENTRO DE ESPECTACULOS) Y AV. CAMELIAS, ENTRE BULEVAR RIO NUEVO Y BULEVAR ADOLFO LOPEZ MATEOS	8"	980
K	BULEVAR RIO NUEVO, ENTRE AV. TEOHUACAN (CENTRO DE ESPECTACULOS) A PUENTE LEYES DE REFORMA (ZONA CENTRO)	4"	2,015
L	BULEVAR ADOLFO LOPEZ MATEOS, ENTRE BULEVAR LAZARO CARDENAS Y ZONA CENTRO DE LA CIUDAD	4"	5,735
M	BULEVAR RIO NUEVO Y CALZ. ANAHUAC, DE BULEVAR LAZARO CARDENAS AL NORTE (CERRIE (CIRCULO))	4"	1,650
N	BULEVAR LAZARO CARDENAS, ENTRE BULEVAR ANAHUAC Y BULEVAR LOPEZ MATEOS	10"	1,930
O	CALLE MAZAPIL Y AV. JUCHIPILA (EJ. ZACATECAS), ENTRE BULEVAR LAZARO CARDENAS Y BULEVAR LOPEZ MATEOS	6"	825
P	BULEVAR RIO NUEVO, ENTRE BULEVAR LAZARO CARDENAS Y CALZADA HECTOR TERAN TERAN	6"	3,040
Q	CALZADA CASTELLON, ENTRE CALZADA ANAHUAC Y BULEVAR RIO NUEVO	4"	1,660
R	CALZADA CASTELLON, ENTRE BULEVAR RIO NUEVO Y BULEVAR ADOLFO LOPEZ MATEOS	6"	1,940
S	BULEVAR ADOLFO LOPEZ MATEOS Y CARRETERA A SAN FELPE, ENTRE BULEVAR LAZARO CARDENAS Y CALZADA HECTOR TERAN	4"	2,390
T	CALZADA HECTOR TERAN, ENTRE CALZADA ANAHUAC Y CARRETERA A SAN FELPE	6"	4,170
U	PROLONGACION BULEVAR LAZARO CARDENAS, ENTRE VIRREYES Y COLONIA HUERTAS DE LA PROGRESO	14"	1,320
V	PROLONGACION BULEVAR GOMEZ MORIN, ENTRE HUERTAS DE LA PROGRESO Y PLANTA ZARAGOZA	16"	3,040
RESUMEN (TOTALES):			53,059

- NOTAS Y ESPECIFICACIONES**
- LAS VALVULAS SERAN TIPO COMPUERTA AWWA C509 MARCA MULLER O SIMILAR, JUNTA SLIP ON MODELO A-200-38.
 - LAS PIEZAS ESPECIALES DE PVC CUMPLARAN CON LA ESPECIFICACION AWWA C907-91 DE 4" A 8", C900 10 Y 12", C905 14 Y 16".
 - VER DETALLE DE CAMPANA DE OPERACION DE VALVULA EN ANEXO B.10 DEL MANUAL DE NORMAS TECNICAS PARA LA ELABORACION DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE.
 - VER DETALLE DE ATAQUE DE CONCRETO EN ANEXO B.3 DEL MANUAL DE NORMAS TECNICAS PARA LA ELABORACION DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE.
 - VER DETALLE SECCION CONSTRUCTIVA DE LA ZANJA EN ANEXO B.5 DEL MANUAL DE NORMAS TECNICAS PARA LA ELABORACION DE PROYECTOS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE.
 - LAS DEFLEXIONES NO INDICADAS COMO CRUCERO SE ABSORBERAN CON LA TUBERIA.
 - ANTES DE INICIAR LA EXCAVACION DE ZANJA PARA ALQUILAMIENTO DE LA TUBERIA, SE DEBERAN SONDEAR LAS LINEAS EXISTENTES (TELNOR) PARA DETERMINAR SU UBICACION EXACTA.
 - TODOS LOS CAMBIOS NO ESPECIFICADOS EN ESTE PROYECTO SE HARA POR AVISO CON ANTICIPACION Y AUTORIZADOS POR CESP M Y PLASMADOS EN EL PLANO DE OBRA TERMINADA.
 - LAS LONGITUDES ESTAN INDICADAS EN METROS (m) Y LAS UNIDADES EN LOS DETALLES DE CRUCEROS ESTAN INDICADAS EN MILIMETROS (mm).
 - DETALLE DE TOMA DE AGUA TRATADA, SEGUN ANEXO B.1C DE LAS NORMAS TECNICAS.

DATOS BASICOS DEL PROYECTO

SUPERFICIE GENERAL (PARA TODA LA CIUDAD)		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
SUPERFICIE PARA RIEGO	M2	1,580,278 M2 (159.02 HAS)
DOTACION PARA RIEGO	LPS	5.00
GASTO TOTAL DEL PROYECTO	LPS	92.00

SUPERFICIE CONSIDERADA (PRIMERA ETAPA)		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
SUPERFICIE PARA RIEGO	M2	1,385,295 M2 (26.53 HAS)
DOTACION PARA RIEGO	LPS	5.00
GASTO TOTAL DEL PROYECTO	LPS	15.35 M2

**CONSIDERANDO UN ANCHO PROMEDIO DE CAJONELLO DE 5MTS. SE CONSIDERA PEAR 2 A PTAR AUMENTAR LA SUPERFICIE DE PARQUES, ESCUELAS Y EDIFICIOS PUBLICOS INCLUIDOS PARA USO PUBLICO.

* LISTA DE CANTIDADES DE TUBERIA AL MES DE NOVIEMBRE DEL 2009
 ** REUBICADA POR CARRETERA A ISLAS AGRARIAS DE CALLE SNA AL ESTE, YA QUE DICHO TRAMO LO CONSTRUIRA LA ZONA

A
PLANTA TRATAMIENTO
LAS ARENITAS

LINEA MORADA EXISTENTE

FUENTE: CESPM 2009

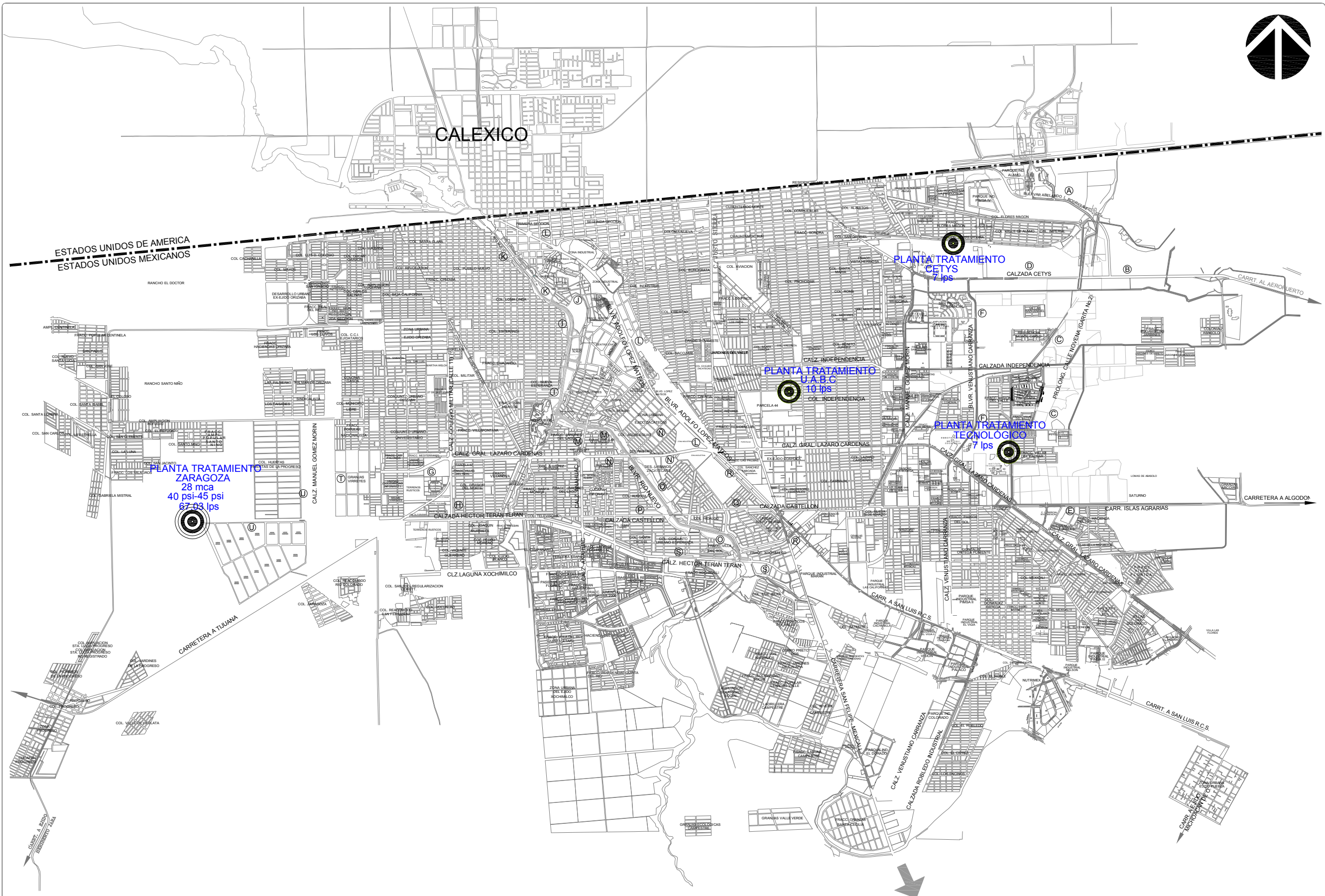
CONTIENE: LINEA MORADA EXISTENTE

REVISO:

CALCULO:

DIBUJO:

CLAVE: MYDPDS-AR-03	PLANO NO. AR-03
ESCALA: 1:33,333	
FECHA: DICIEMBRE 2011	



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI 20

- SIMBOLÓGIA**
- PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS REGENERADAS

FUENTES DE EFLUENTE REGENERADO

FUENTE:	CESPM 2009	
CONTIENE:	FUENTES DE EFLUENTE REGENERADO	
REVISO:	ING. TANYA PIÑERA PALACIOS	
CALCULO:	ING. HERON VERA VILLOBOB	
DIBUJO:	ARQ. ARELI GONZALEZ	
CLAVE:	MYDPDS-AR-04	PLANO NO.
ESCALA:	1:33,333	AR-04
FECHA:	DICIEMBRE 2011	

CALEXICO

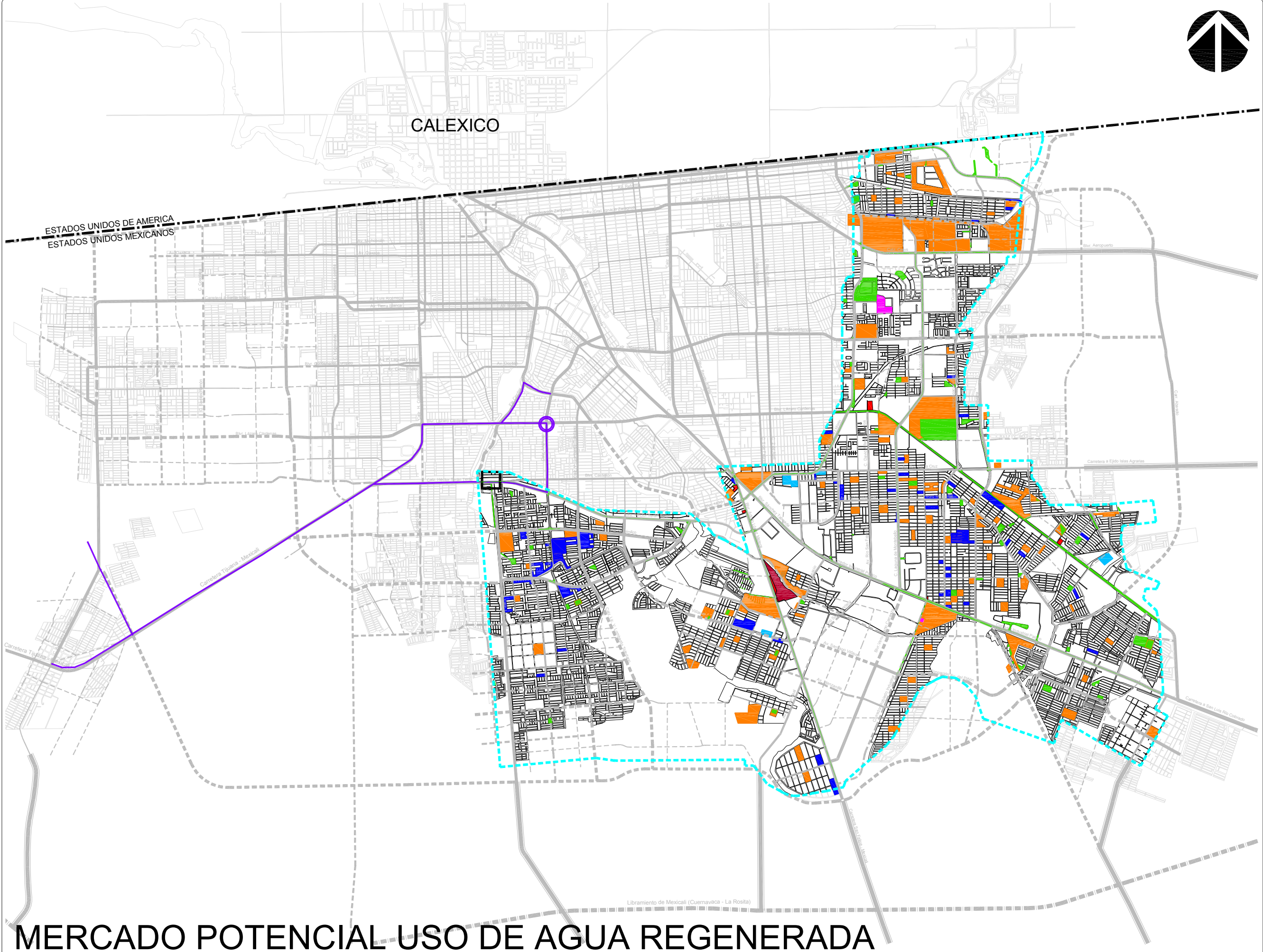
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
RECUPERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICALCO

SIMBIOLOGIA

- USUARIOS:
- AREAS VERDES
 - SISTEMA CONTRA INCENDIOS
 - CEMENTERIOS
 - DEPORTE Y RECREACION
 - EQUIPAMIENTO ESCOLAR
 - HOTELES Y MOTELES
 - LAVADO DE AUTOS
- LINEA MORADA:
- EXISTENTE
- VIALIDADES:
- REGIONALES
 - LIBRAMIENTO
 - PRIMARIA EXISTENTE
 - SECUNDARIA EXISTENTE
 - TERCIARIA EXISTENTE
 - PRIMARIA PROPUESTA
 - SECUNDARIA PROPUESTA
 - TERCIARIA PROPUESTA



MERCADO POTENCIAL USO DE AGUA REGENERADA

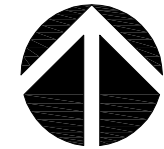
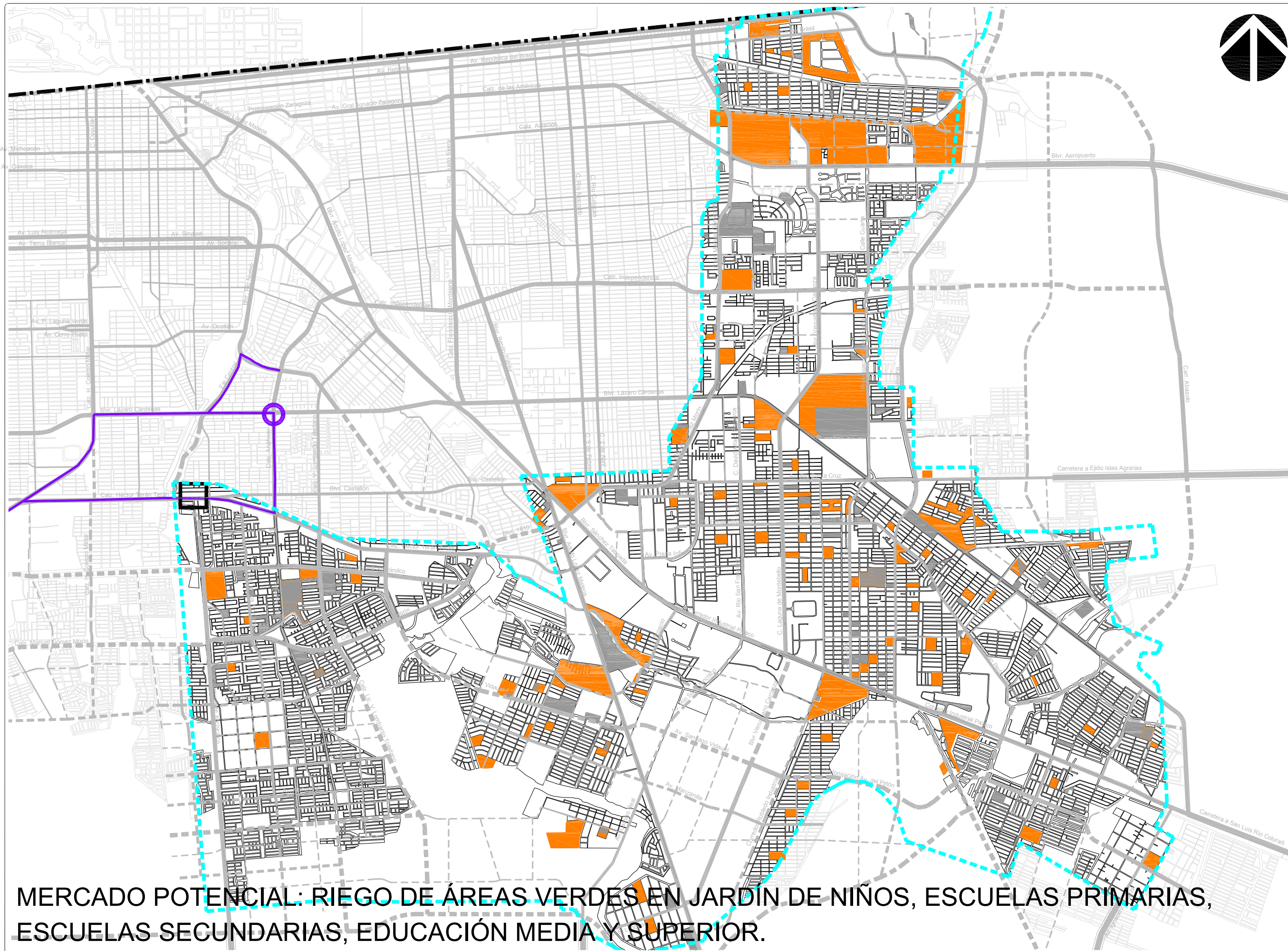
FUENTE:
INEGI, 2009

CONTIENE:
MERCADO POTENCIAL
USO AGUA REGENERADA

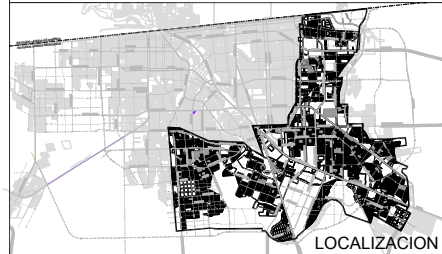
REVISO: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

CLAVE: MYDPDS-AR-05
ESCALA: 1:33,333
FECHA: DICIEMBRE 2011

PLANO NO.
AR-05



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI, BC.



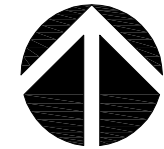
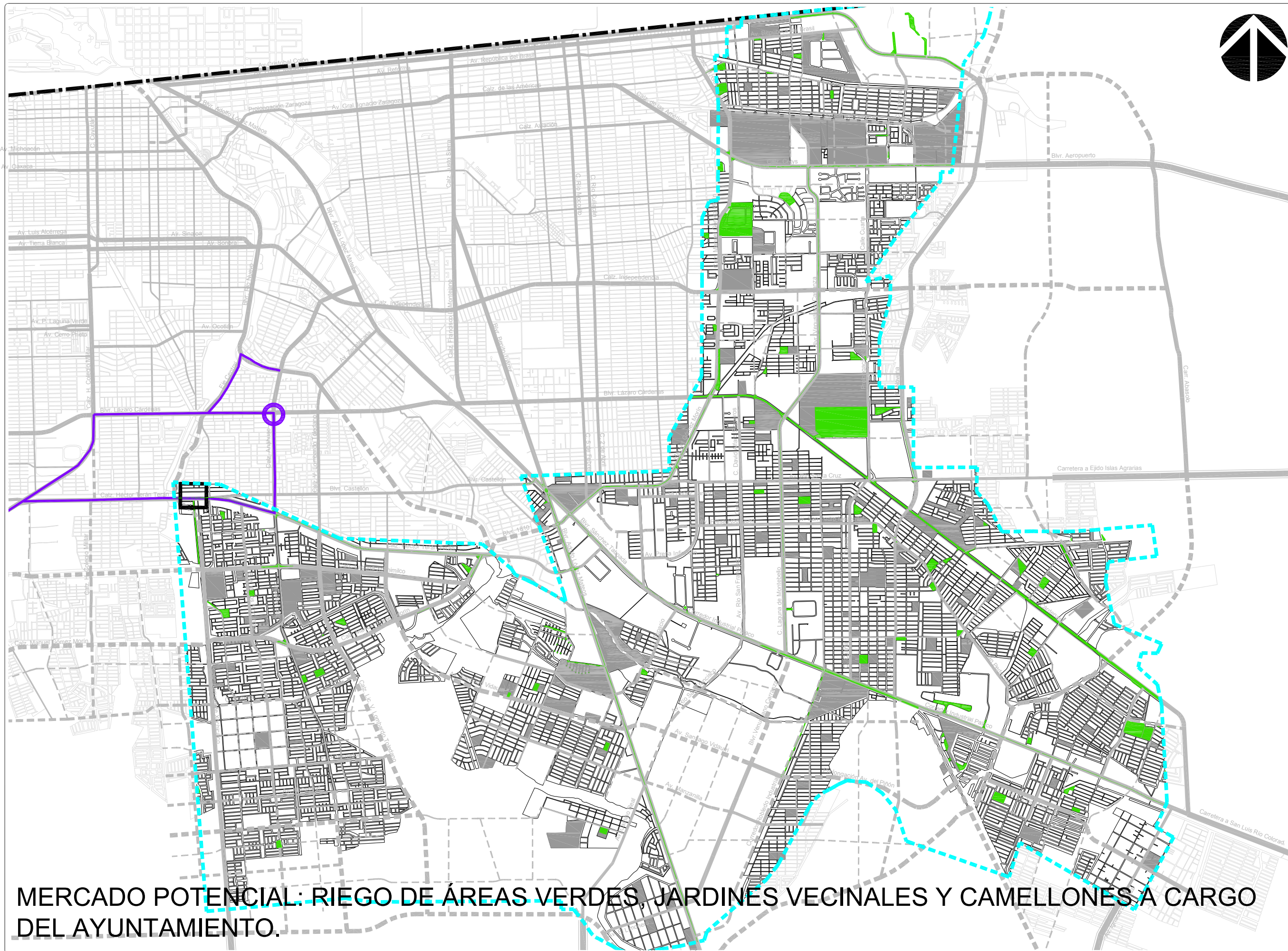
- USUARIOS:**
- JARDÍN DE NIÑOS, ESCUELAS PRIMARIAS, ESCUELAS SECUNDARIAS, EDUCACIÓN MEDIA Y SUPERIOR
- LINEA MORADA:**
- EXISTENTE
- VIALIDADES:**
- REGIONALES
 - LIBRAMIENTO
 - PRIMARIA EXISTENTE
 - SECUNDARIA EXISTENTE
 - Terciaria EXISTENTE
 - PRIMARIA PROPUESTA
 - SECUNDARIA PROPUESTA
 - Terciaria PROPUESTA

MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES EN JARDIN DE NIÑOS, ESCUELAS PRIMARIAS, ESCUELAS SECUNDARIAS, EDUCACIÓN MEDIA Y SUPERIOR.

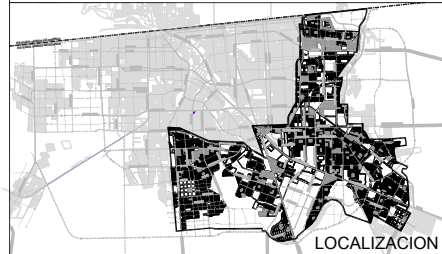
FUENTE: CESPM, 2009

CONTIENE: MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES EN JARDIN DE NIÑOS, ESCUELAS PRIMARIAS, ESCUELAS SECUNDARIAS, EDUCACIÓN MEDIA Y SUPERIOR.

REVISO:	ING. TANYA PIÑERA PALACIOS	PLANO NO. AR-06
CALCULO:	ING. HERON VERA VILLALOBOS	
DIBUJO:	ARQ. ARELI GONZALEZ	
CLAVE:	MYDPDS-AR-06	
ESCALA:	1:50,000	
FECHA:	DICIEMBRE 2011	



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
RECUPERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICALI, B.C.



SIMBOLOGIA

USUARIOS:

- ÁREAS VERDES, JARDINES VECINALES Y CAMELLONES A CARGO DEL AYUNTAMIENTO

LINEA MORADA:

- EXISTENTE

MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES, JARDINES VECINALES Y CAMELLONES A CARGO DEL AYUNTAMIENTO.

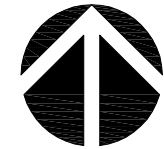
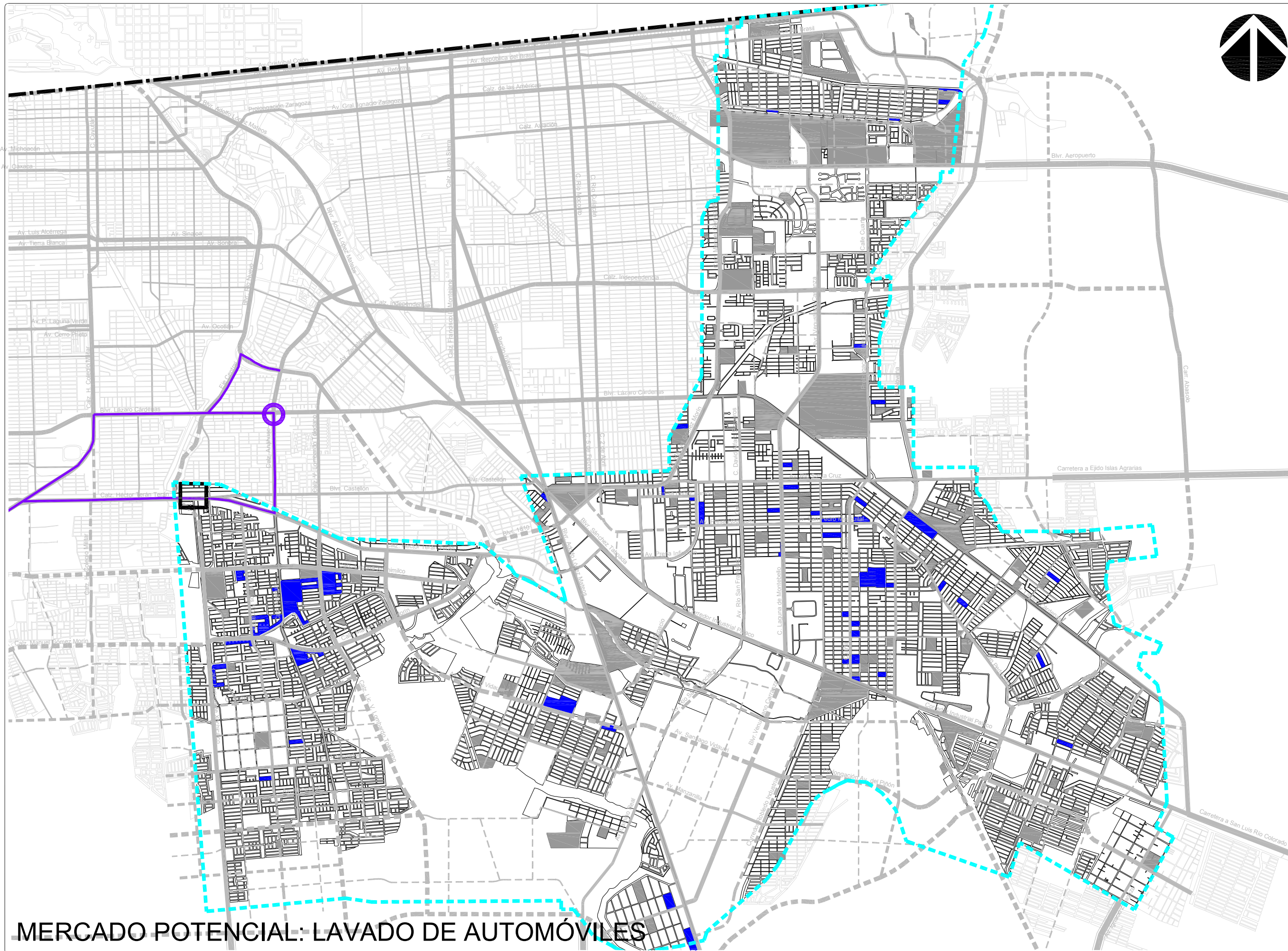
FUENTE:
CESPM, 2009

CONTIENE:
MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES, JARDINES VECINALES Y CAMELLONES A CARGO DEL AYUNTAMIENTO.

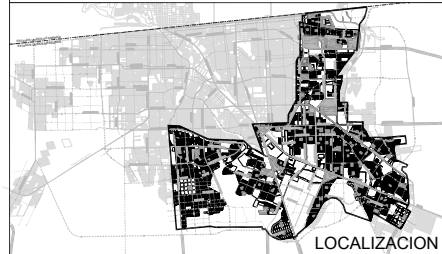
REVISÓ: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

CLAVE: MYDPDS-AR-07
ESCALA: 1:50,000
FECHA: DICIEMBRE 2011

PLANO NO. AR-07



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
REGENERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICALI, BC.



LOCALIZACION

USUARIOS:

LAVADO DE AUTOMÓVILES

LINEA MORADA:

EXISTENTE

VIALIDADES:

- REGIONALES
- LIBRAMIENTO
- PRIMARIA EXISTENTE
- SECUNDARIA EXISTENTE
- Terciaria EXISTENTE
- PRIMARIA PROPUESTA
- SECUNDARIA PROPUESTA
- Terciaria PROPUESTA

MERCADO POTENCIAL: LAVADO DE AUTOMÓVILES

FUENTE: CESPM, 2009

CONTIENE: MERCADO POTENCIAL: LAVADO DE AUTOMÓVILES

REVISÓ: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS

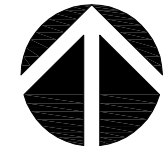
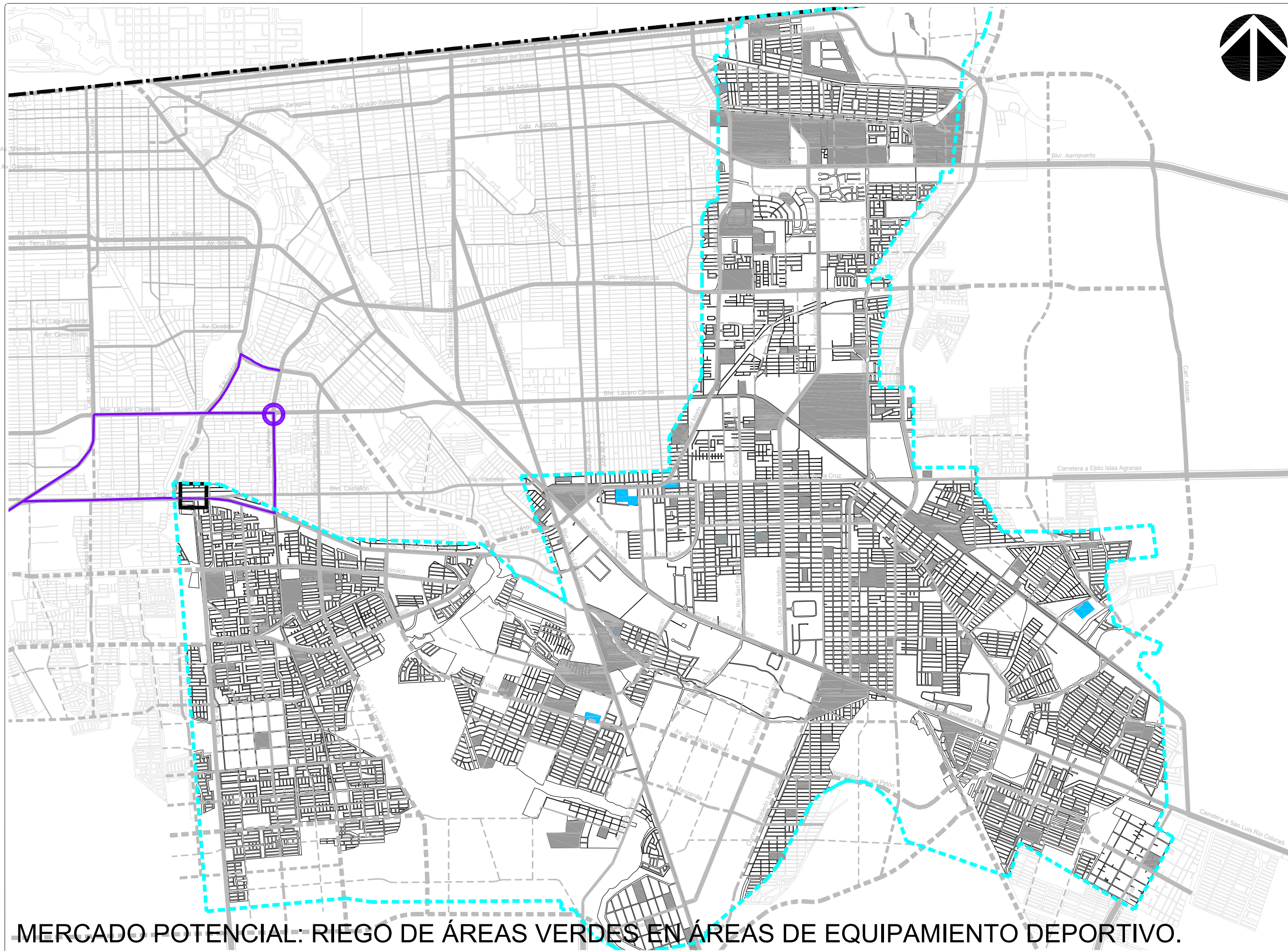
CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS

DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

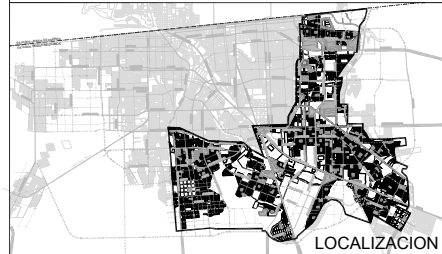
CLAVE: MYDPDS-AR-08 PLANO NO.

ESCALA: 1:50,000 AR-08

FECHA: DICIEMBRE 2011



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI, BC.



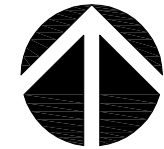
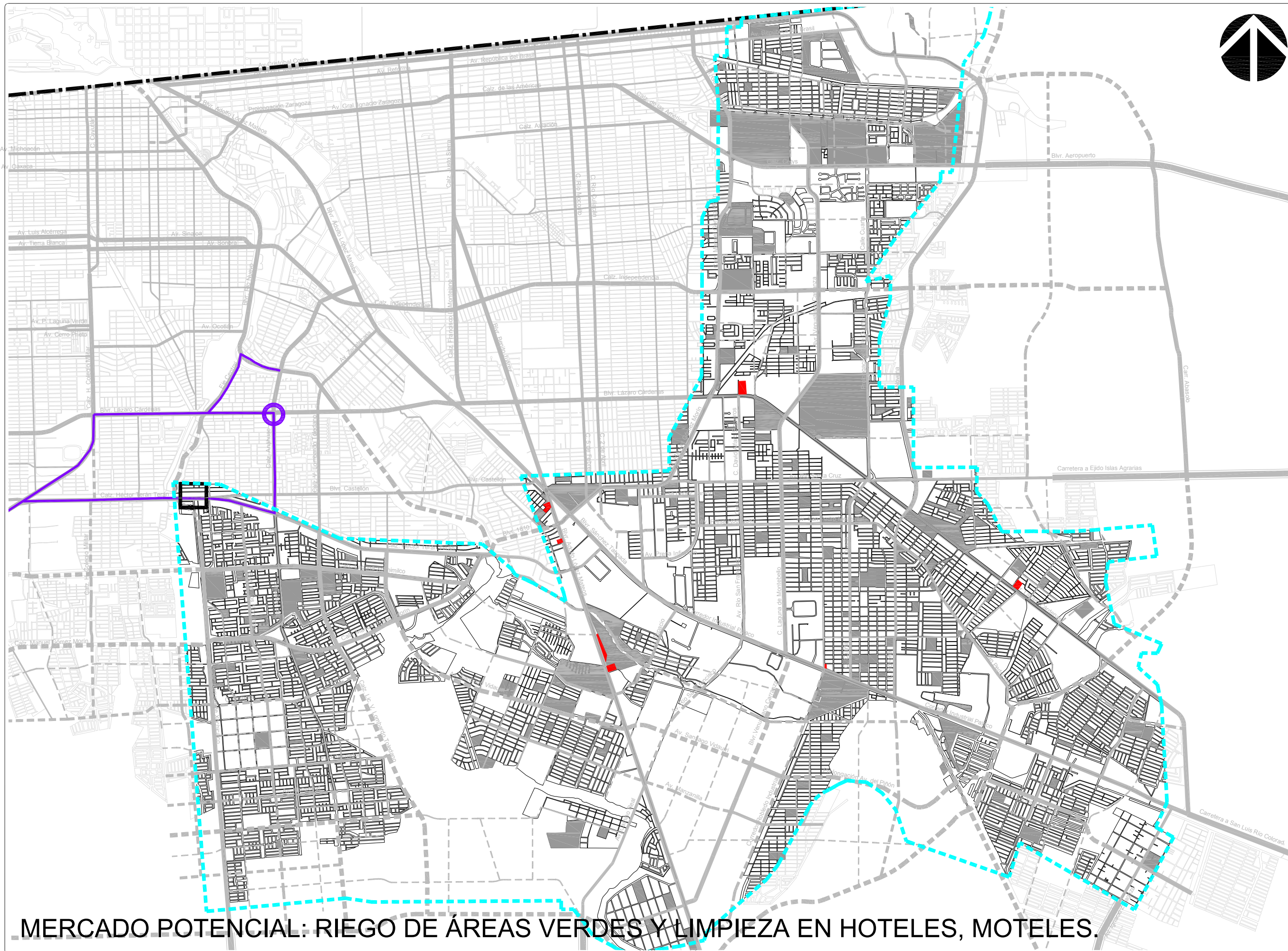
- USUARIOS:**
- DEPORTE Y RECREACION
- LINEA MORADA:**
- EXISTENTE
- VIALIDADES:**
- REGIONALES
 - LIBRAMIENTO
 - PRIMARIA EXISTENTE
 - SECUNDARIA EXISTENTE
 - TERCIARIA EXISTENTE
 - PRIMARIA PROPUESTA
 - SECUNDARIA PROPUESTA
 - TERCIARIA PROPUESTA

FUENTE: CESPM, 2009

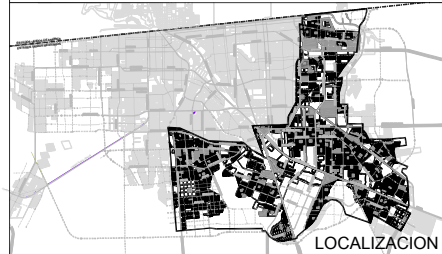
CONTIENE: MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES EN ÁREAS DE EQUIPAMIENTO DEPORTIVO

REVISO:	ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO:	ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO:	ARQ. ARELI GONZALEZ
CLAVE:	MYDPDS-AR-09
ESCALA:	1:50,000
FECHA:	DICIEMBRE 2011
PLANO NO.:	AR-09

MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES EN ÁREAS DE EQUIPAMIENTO DEPORTIVO.



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI, BC.



- USUARIOS:**
- ÁREAS VERDES Y LIMPIEZA EN HOTELES, MOTeles.
- LINEA MORADA:**
- EXISTENTE
- VIALIDADES:**
- REGIONALES
 - LIBRAMIENTO
 - PRIMARIA EXISTENTE
 - SECUNDARIA EXISTENTE
 - TERCIARIA EXISTENTE
 - PRIMARIA PROPUESTA
 - SECUNDARIA PROPUESTA
 - TERCIARIA PROPUESTA

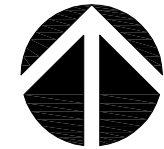
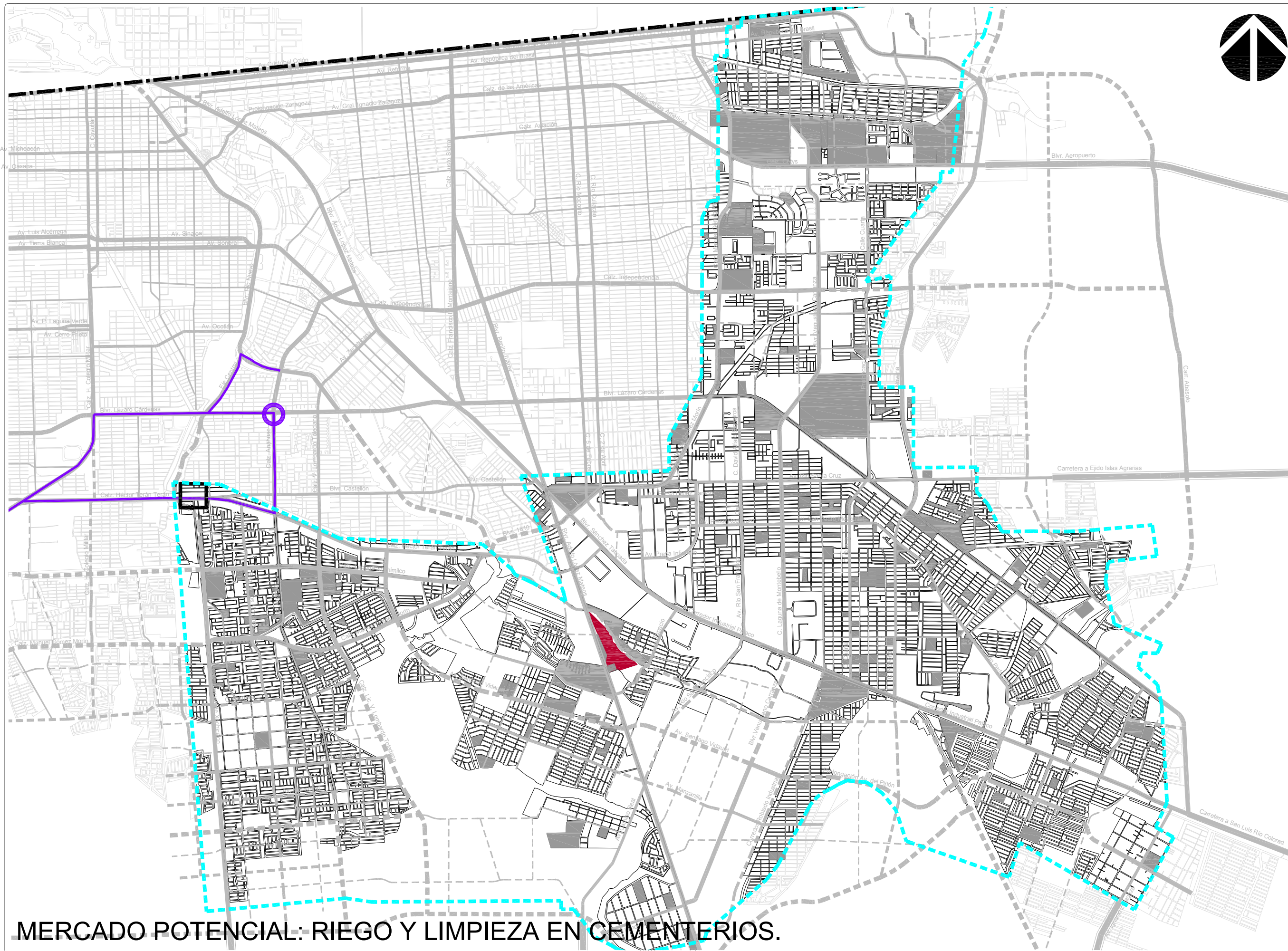
MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES Y LIMPIEZA EN HOTELES, MOTeles.

FUENTE: CESPM, 2009

CONTIENE: MERCADO POTENCIAL: RIEGO DE ÁREAS VERDES Y LIMPIEZA EN HOTELES, MOTeles

REVISO:	ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO:	ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO:	ARQ. ARELI GONZALEZ
CLAVE:	MYDPDS-AR-10
ESCALA:	1:50,000
FECHA:	DICIEMBRE 2011

PLANO NO.
AR-10



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
REGENERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICALI, B.C.



USUARIOS:

CEMENTERIOS

LINEA MORADA:

EXISTENTE

VIALIDADES:

- REGIONALES
- LIBRAMIENTO
- PRIMARIA EXISTENTE
- SECUNDARIA EXISTENTE
- Terciaria EXISTENTE
- PRIMARIA PROPUESTA
- SECUNDARIA PROPUESTA
- Terciaria PROPUESTA

MERCADO POTENCIAL: RIEGO Y LIMPIEZA EN CEMENTERIOS.

FUENTE:
CESPM, 2009

CONTIENE:
MERCADO POTENCIAL: RIEGO Y LIMPIEZA EN
CEMENTERIOS.

REVISO: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS

CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS

DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

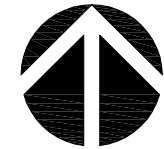
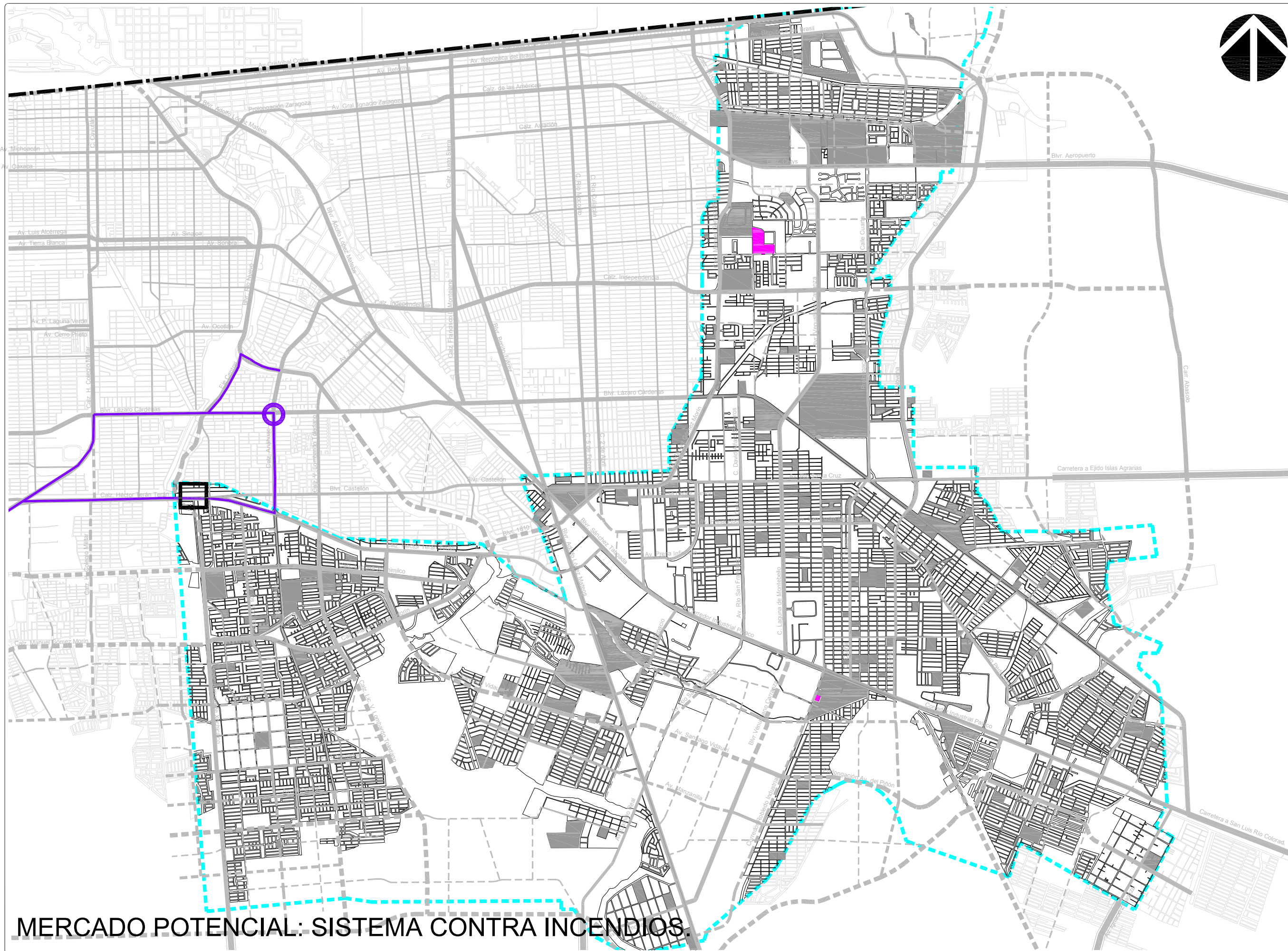
CLAVE: MYDPDS-AR-11

ESCALA: 1:50,000

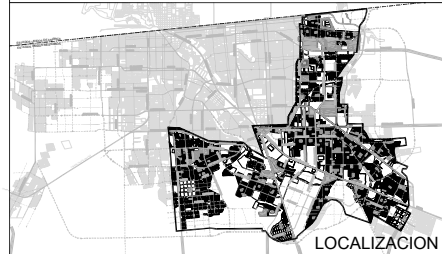
FECHA: DICIEMBRE 2011

PLANO NO.

AR-11



ALTERNATIVAS DE USO DE AGUAS REGENERADAS EN LA CIUDAD DE MEXICALI, BC.



- USUARIOS:**
- SISTEMA CONTRA INCENDIOS
- LINEA MORADA:**
- EXISTENTE
- VIALIDADES:**
- REGIONALES
 - LIBRAMIENTO
 - PRIMARIA EXISTENTE
 - SECUNDARIA EXISTENTE
 - TERCIARIA EXISTENTE
 - PRIMARIA PROPUESTA
 - SECUNDARIA PROPUESTA
 - TERCIARIA PROPUESTA

MERCADO POTENCIAL: SISTEMA CONTRA INCENDIOS.

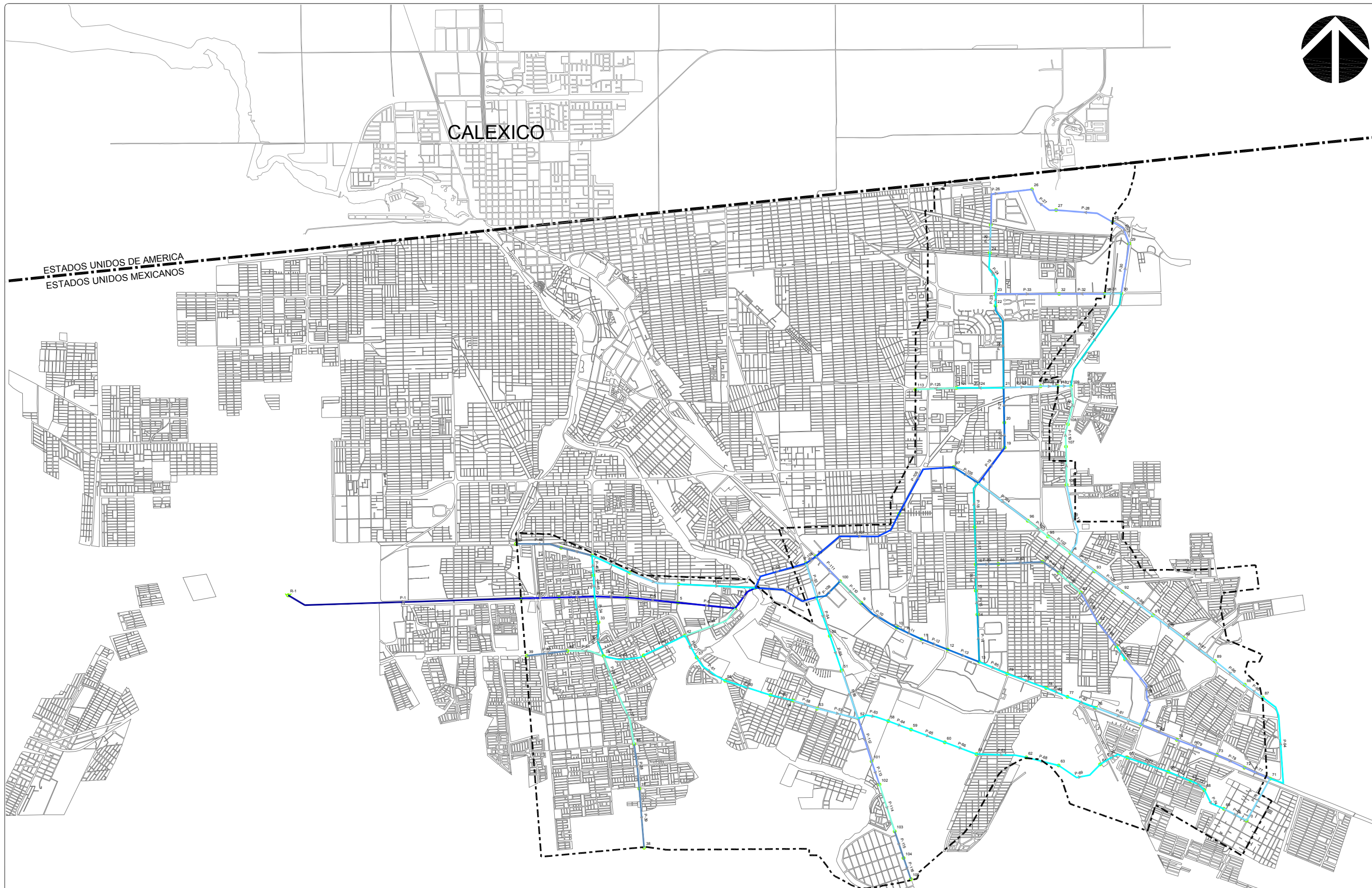
FUENTE: CESPM, 2009

CONTIENE: MERCADO POTENCIAL: SISTEMA CONTRA INCENDIOS

REVISO:	ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO:	ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO:	ARQ. ARELI GONZALEZ
CLAVE:	MYDPDS-AR-12
ESCALA:	1:50,000
FECHA:	DICIEMBRE 2011
PLANO NO.	AR-12



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
REGENERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICALI, B.C.



SIMBOLOGIA

TRAMOS DE TUBERIA		
DIAMETRO	LINEA	LONGITUD (M)
100mm (4")Ø		6,495.29
150mm (6")Ø		8,402.12
200mm (8")Ø		13,345.06
250mm (10")Ø		14,703.55
300mm (12")Ø		22,379.33
350mm (14")Ø		4,987.20
400mm (16")Ø		2,384.76
400mm (18")Ø		551.38
400mm (20")Ø		4,566.51
400mm (24")Ø		6,567.34
400mm (30")Ø		4,413.50
400mm (36")Ø		4,286.29

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

CALEXICO

PROYECTO DE AMPLIACIÓN LÍNEA MORADA

FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA

CONTIENE:
PROYECTO DE AMPLIACIÓN
LÍNEA MORADA

REVISO: ING. TANYA PIÑERA PALACIOS
CALCULO: ING. HERON VERA VILLALOBOS
DIBUJO: ARQ. ARELI GONZALEZ

CLAVE: MYDPDS-AR-13	PLANO NO.
ESCALA: 1:33,333	AR-13
FECHA: DICIEMBRE 2011	



ALTERNATIVAS DE
USO DE AGUAS
REGENERADAS
EN LA CIUDAD DE
MEXICO, D.F.



FUENTE:
ELABORACIÓN PROPIA

CONTIENE:
IMAGEN LÍNEA MORADA

REVISO:
CALCULO:
DIBUJO:

CLAVE:	MYDPDS-AR-14	PLANO NO.
ESCALA:	SIN ESCALA	AR-14
FECHA:	DICIEMBRE 2011	



Fotografía 1.- Tubería de entrada de agua residual
en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 2.- Tubería de entrada de agua residual
y salida de agua regenerada en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 3.- Aspecto del afluente que ingresa a Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 4.- Infraestructura de tratamiento en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 5.- Toma de muestra de agua regenerada de Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 6.- Infraestructura de tratamiento en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 7.- Operador realizando lavado de tanques en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 8.- Infraestructura de tratamiento en Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 9.- Efluente de la Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 10.- Área verde regado con efluente de la Planta Zaragoza, Mexicali, B.C.



Fotografía 11.- Señalamiento que indica uso de agua reciclada para riego de áreas verdes en camellones en la ciudad de Mexicali, B.C.



Fotografía 12.- Oficinas de la CESPM en Mexicali, B.C.



Fotografía 13.- Botellas de agua regenerada para consumo humano a la venta en Singapore.



Fotografía 14.- Tuberías especiales para distribución y suministro de agua regenerada.



Fotografía 15.- Ejemplo de señalamiento de uso de agua regenerada para riego de áreas verdes.



Fotografía 16.- Ejemplo de señalamiento de uso de agua regenerada para riego de áreas verdes.



Fotografía 17.- Carwash en Wilmington, DE que utiliza energía solar, agua reciclada y químicos amigables al ambiente.



Fotografía 18.- Jardín en Scotts Valley, CA regado con agua regenerada.



Fotografía 19.- Presa en Santa Rosa Valley, City of Thousand Oaks en donde se generan ganancias de mas de \$1,000,000 USD anuales gracias a la venta de agua regenerada.



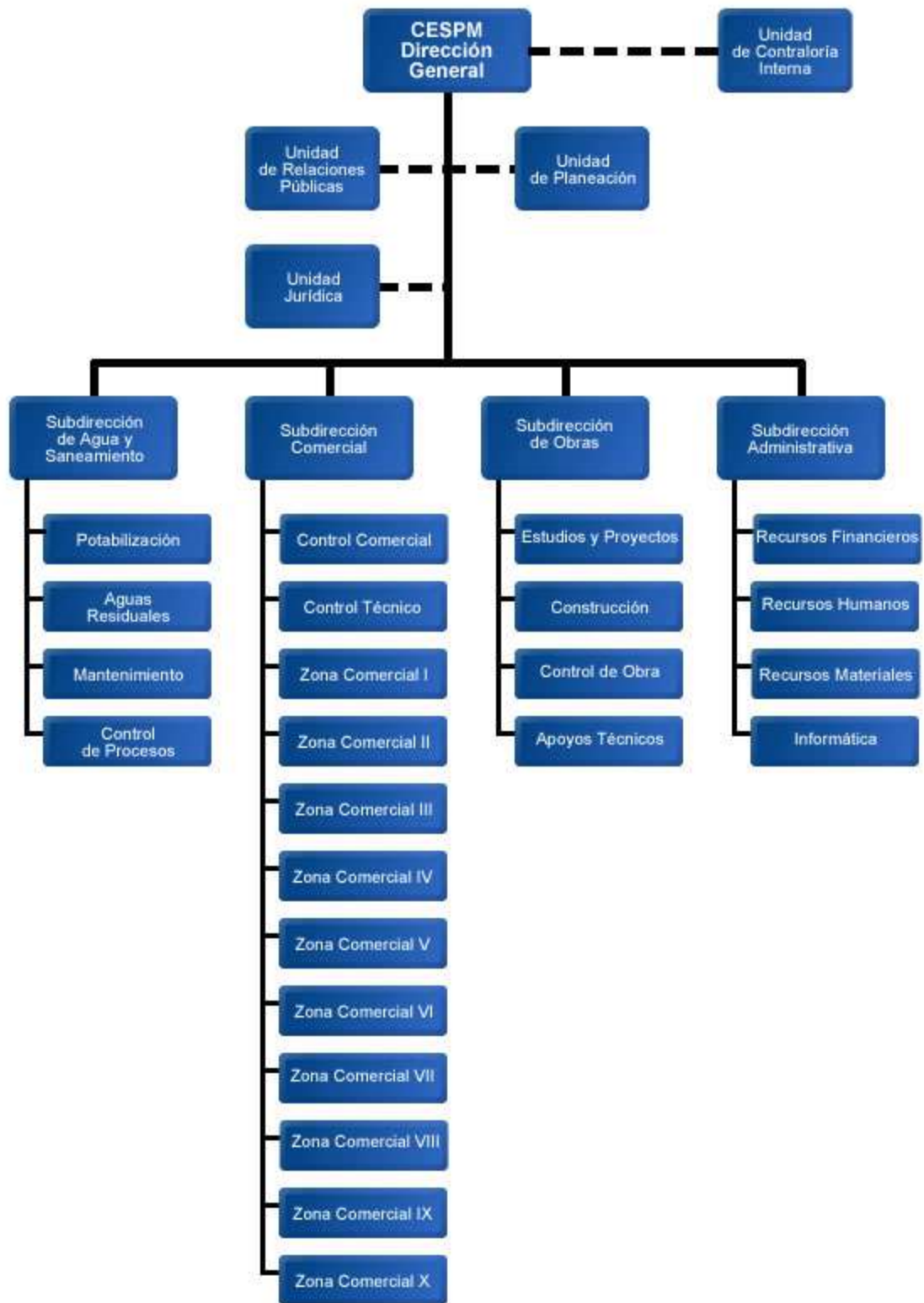
Fotografía 20.- En Florida, los hidrantes morados proveen agua regenerada para la operación del departamento de bomberos.



Fotografía 21.- En el Veterans Oasis Park de Chandler, AZ, se recargan los acuíferos con agua regenerada,



Fotografía 22.- En Inglewood, CA, se utiliza agua regenerada para uso de barredoras urbanas.



Fotografía 23.- Organigrama de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

1. Abu-Madi, M., Mimi, Z., & Abu-Rmeile, N. (2008). Public Perceptions and Knowledge towards Wastewater Reuse in Agriculture. First Symposium on Wastewater Reclamation and Reuse for Water Demand Management in Palestine, (págs. 1-9). Palestine: Birzeit University.
2. Aguayo Becerra, J. C. (09 de Diciembre de 2010). Equipamiento Deportivo IMDECUF. (T. P. Palacios, Entrevistador)
3. Aguilera Vidal, R., & Sepúlveda Palacios, F. (2005). La evaluación de proyectos de inversión para la toma de decisiones. Economía y Administración No. 64, 91-100.
4. Anderson, J. (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. Water Science and Technology: Water Supply Vol 3 No 4, 1-10.
5. Anderson, P. (12 de Marzo de 2008). Planning for Water Reuse in Northeastern Illinois. Illinois, IL, EUA: Illinois Waste Management and Research Center.
6. Área Comercial, C. (2010). Reporte Anual de Importes Facturados por Agua Residual del Año 2010. Mexicali: CESP.M.
7. Arreguín, C. F., Moeller Chávez, G., Escalante Estrada, V., & Rivas Hernández, A. (1999). El Reúso del Agua en México. Congreso Nacional ACODAL Hacia la Calidad: Necesidad para el Próximo Milenio, 42; Barranquilla, 23-26 set. 1999. Morelia, Mich.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
8. Bixio, D., De heyder, B., Cikurel, H., Muston, M., Miska, V., Joksimovic, D., y otros. (2005). Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. Water Science and Technology: Water Supply Vol 5 No 1, 77-85.
9. Blanco, M. (2007). Agua Reciclada, Ahorro hacia el futuro. AquaVitae, págs. 34-37.
10. Blumenthal, D. U., Peasey, D. A., Ruiz-Palacios, P. G., & D. Mara, P. D. (2000). Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. Loughborough: Loughborough University.
11. Bryck, J., Prasad, R., Lindley, T., Davis, S., & Carpenter, G. (2008). National Database of Water Reuse Facilities. Alexandria, VA: WateReuse Foundation.
12. Bustamante, I., Cabrera, M. d., Candela, L., Lillo, J., & Palacios, M. d. (2010). La reutilización de aguas regeneradas en España: Ejemplos de aplicación en el marco del proyecto consolider-tregua. Aqua-LAC , 1-17.

13. Calzada Cortina, M. T. (2009, Septiembre 2). Conferencia:Sustentabilidad Urbana. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
14. César Valdez, E., & Vázquez González, A. B. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, DF: Fundación ICA.
15. CESPМ, Á. C. (2010). Reporte Anual de Consumos Facturados por Agua Residual del Año 2010. . Mexicali: CESPМ.
16. CESPМ, C. d. (2010). Resumen de análisis fisicoquímicos de afluentes y efluentes de la PTAR Mexicali de 2010. Mexicali: CESPМ.
17. CESPМ, C. E. (2010). Costo mensual de operación de la planta de tratamiento terciario(PTT). Mexicali: CESPМ.
18. CESPT, C. E. (junio de 2007). Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado el Noviembre de 2010, de Cuido El Agua: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/tipostratamientos.html>
19. Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; International Water Resources Association. . (1991). Ponencias del Seminario Internacional sobre el Uso Eficiente del Agua. Seminario Internacional sobre el Uso Eficiente del Agua. (págs. 749-56). México, D.F: IMTA.
20. CONAPO. (1999). Proyecciones de la población en México 2005-2050. México, D.F.: CONAPO.
21. Contreras Rodríguez, E. (2005). El Revestimiento del Canal Todo Americano. El Bordo, Retos de Frontera.
22. Didier Vaquiro, J. (2006). Tasa Interna de Retorno. Recuperado el 12 de Mayo de 2011, de Pymes Futuro: <http://www.pymesfuturo.com/tiretorno.htm>
23. Dolnicar, S., Hurlimann, A., & Nghiem, L. D. (2010). The effect of information on public acceptance - The case of water from alternative sources. Recuperado el 11 de Marzo de 2011, de <http://ro.uow.edu.au/commpapers/713>
24. Domènech, L., & Sauri, D. (18 de November de 2010). Public acceptance crucial to success of water recycling systems. Science for Environment Policy DG Environment News Alert Service, págs. 1-1.
25. Durham, B., Angelakis, A., Wintgens, T., Thoeye, C., & Sala, L. (2005). Water Recycling and Reuse. A water scarcity best practice solution. Cyprus: asdf.
26. El Pozo . (Octubre-Diciembre de 2005). AquaVitae , pág. 32.
27. EPA, U. E., & Camp Dresser & McKee, I. (1992). Guidelines for Water Reuse. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

28. Europeo, C. a. (2002, Marzo 12). Política de gestión del agua en los países en desarrollo y prioridades de la cooperación de la Unión Europea al desarrollo. Recuperado el Noviembre 30, 2011, de Síntesis de la legislación de la UE:
http://europa.eu/legislation_summaries/development/sectoral_development_policies/r12514_es.htm
29. Fatta, D., Papadopoulos, A., Mentzis, A., Loizidou, M., Irusta, R., Sandovar, A., y otros. The Urgent Need for Sustainable Urban Wastewater Treatment and Reuse in the Agricultural Production in the Mediterranean Countries- The MEDAWARE Project. European Comission
30. Federal, C. H. (2003). Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina.
31. Fernández Güell, J. M. (Mayo de 2004). Sostenibilidad y Gobernabilidad. Madrid, España.
32. Fernández, L. (2008). Ecurbanismo. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
33. Fitch Inc. (2010). Finanzas Públicas, CESPM. Nueva York: Fitch Inc.
34. Fundación por la Socialdemocracia de las Américas A.C. (2008). Medio Ambiente y Desarrollo: hacia un manejo sustentable del agua. México, DF.: BGB Producciones.
35. García, T. (03 de Febrero de 2006). El agua bien económico y social: Luken Aguilar. Todo México Somos Hermanos .
36. GobBC, G. d. (2007, Diciembre 31). Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal 2008. Periódico Oficial del Estado de Baja California, págs. 21-26.
37. GobBC, G. d. (2008, Diciembre 31). Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal 2009. Periódico Oficial del Estado de Baja California, págs. 21-26.
38. GobBC, G. d. (31 de Diciembre de 2009). Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal 2010. Periódico Oficial del Estado de Baja California, págs. 21-26.
39. GobBC, G. d. (2010, Diciembre 31). Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el ejercicio fiscal 2011. Periódico Oficial del Estado de Baja California, págs. 21-26.
40. Gobierno Municipal de Mexicali. (2005). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población Mexicali, B.C. 2025. Mexicali: IMIP.
41. Gómez Mantilla, A., Valderrama, M. L., Hernández, J. C., & Molina, J. O. Reúso de Aguas Residuales. Manizales: Universidad de Manizales.

42. Gonzalez Couret, D. A. (2005). Sustentabilidad Urbana. Energía y Tú, Artículo 6.
43. Guillermo Montaña, J. (2002). Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua. Medellín : Editorial Clave.
44. Hernández Morelos, M. R. (24 de Noviembre de 2010). Alternativas de uso de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali B.C. (I. T. Palacios, Entrevistador)
45. Hernández Morelos, R. (2009). "Re-Usos o Reciclaje del Agua Residual Tratada en el Municipio de Mexicali". Mexicali: UABC.
46. Hernández Rodríguez, M. d. (2005). Tesis Doctoral. Aspectos del uso y valoración del agua subterránea en el estado de Tlaxcala: Un análisis desde una perspectiva social. Puebla, Puebla: Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
47. Hernández, F., Urkiaga, A., De Las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balazs, B., y otros. (2005). Feasibility studies for water reuse projects: an economical approach. International Conference on Integrated Concepts on Water Recycling (págs. 253-261). Wollongong, NSW, Australia.; Elsevier.
48. Hernández, I. L. (27 de Septiembre de 2010). Alternativas de uso de aguas regeneradas en la ciudad de Mexicali B.C. (I. T. Palacios, Entrevistador)
49. Holt, P., & James, E. (2006). Wastewater reuse in the Urban Environment: selection of technologies. Landcom.
50. IGME, D. d. (1995). Nuevas tecnologías para el saneamiento, depuración y reutilización de las aguas residuales en la Provincia de Alicante. Instituto Geológico y Minero de España.
51. InfoJardín. (18 de Marzo de 2005). Recuperado el 10 de Mayo de 2011, de InfoJardín: <http://foroarchivo.infojardin.com/cesped/t-153136.html>
52. Kantanoleon, N., Zampetakis, L., & Manios, T. (2006). Resources, Conservation and Recycling. Recuperado el 9 de Marzo de 2011, de Science Direct: www.sciencedirect.com
53. Kawa, N. Y. WATER RECYCLING AND REUSE: THE ENVIRONMENTAL BENEFITS. San Francisco, CA.: EPA, US Environmental Protection Agency.
54. Kennedy, L. A., & Tsuchihashi, R. P. (2005). Is water reuse sustainable? Factors affecting its sustainability. Davis, CA.: University of California.
55. Legislatura, L. (2006). Leyes Federales y Estatales. Recuperado el Octubre 13, 2010, de Cámara de Diputados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
56. León Suematsu, I. G., & Sanhueza Navarrete, I. J. (1995). Medidas de Protección Sanitaria en el Aprovechamiento de Aguas Residuales y Lodos

- de las Plantas de Tratamiento. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
57. Lepe Zapata, A. (2002). El planeta, la vida, el agua y la ciudad. Urbano, 21-27.
 58. LHP&EPJM. (1998-2009). Infraestructura: Abasto de Agua . Recuperado el 29 de Octubre de 2010, de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali: <http://www.cespm.gob.mx/plantaspot.html>
 59. LHP&EPJM. (1998-2009). Infraestructura: Reúso del Agua. Recuperado el 13 de Noviembre de 2010, de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali: <http://www.cespm.gob.mx/reusoagua.html>
 60. Lomelí R., B. M., & Tamayo O., I. R. (s/a). Tratamiento 1, 2 , 3. Contaminación del Agua. Recuperado el 1 de Junio de 2010, de Deterioro Ambiental: <http://www.sagan-gea.org/hojared/CAgua.html>
 61. López, V. T. (2009). Reúso del Agua Residual, Energía y Sustentabilidad en el Valle de Aguascalientes. . Aguascalientes: Organización Meteorológica Mundial.
 62. Mexicanos, P. d. (1944). Tratado sobre distribución de aguas internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América .
 63. Milmo, S. (2009, Abril). Re-use or run out. The Chemical Engineering, págs. 20-22.
 64. Ministerio del Medio Ambiente. (S/A). Guía para la implementación del Reúso del Agua en Colombia. Medellín.
 65. Molinos Senante, M., Hernández Sancho, F., & Sala Garrido, R. (2010). Viabilidad económica de la reutilización de aguas residuales: valoración económica de los beneficios ambientales. Burgos: Universidad de Burgos.
 66. Mujeriego Saahuquillo, R. (2007). La Reutilización, la regulación y la desalación en la gestión integrada del agua. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
 67. Mujeriego, R. La reutilización planificada del agua: Aspectos reglamentarios, sanitarios, técnicos y de gestión. Barcelona.
 68. Noguera Torrecillas, C. (s/a). Desarrollo Urbano Sostenible. Alicante: Universidad de Alicante.
 69. Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). Publications:World Health Organization. Recuperado el 06 de Mayo de 2011, de World Health Organization: <http://www.who.int/en/>
 70. Organización Panamericana de la Salud. (s/a). Glosario de Términos. Recuperado el Mayo 31, 2010, de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible

- y salud ambiental: http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_microbiologicos/Helminfos%20PDF/DefinicionHelminfos.pdf
71. Osés Pérez, M., & Marín, A. (2010). El reúso del agua, la alternativa de hoy. Guadalajara: Comisión Estatal del Agua de Jalisco.
 72. Pérez Roas, J. A. (2005). Valoración Económica del Agua. 1-45. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes.
 73. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1972). Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (págs. 1-5). Estocolmo: Naciones Unidas.
 74. Ramírez González, A., Santacruz Lara, C., Garrido Hoyos, S., Fuentes Díaz, M., Calderón Molgora, C., & Montellano Palacios, L. Análisis del costo de tratamiento en tres tipos de fuente para entregar agua potable a las ciudades de Guaymas y Ensenada, México. Jiutepec, Morelos: IMTA.
 75. Ramírez Rodríguez, R. (2006). La problemática global del agua.
 76. Remosa. (sf). ¿Por qué un sistema de regeneración de aguas? Recuperado el Abril 05, 2010, de Remosa: http://www.regeneraciondeaguas.com/remosa/regeneracion/porque_regeneracion.html
 77. Ramírez González, A., Santacruz Lara, C., Garrido Hoyos, S., Fuentes Díaz, M., Calderón Molgora, C., & Montellano Palacios, L. (SF) Análisis del costo de tratamiento en tres tipos de fuente para entregar agua potable a las ciudades de Guaymas y Ensenada, México. Jiutepec, Morelos: IMTA.
 78. Rita Hochstrat, R. A. (2006). Techneau Report On Trends In Water stressed regions. Germany: Techneau.
 79. Rogers, P., de Silva, R., & Bhatia, R. (2001). Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. Elsevier.
 80. Ruiz López, D., & Cadenas Ayala, C. E. (2005). ¿Qué es una política pública? IUS Revista Jurídica.
 81. Ruiz R, I. A. (2008). Suministro e Instalación de tubería PVC para la reutilización de agua tratada en los camellones de los principales bulevares de la ciudad de Mexicali, B.C. Mexicali, B.C.: CESPM.
 82. Salgot, M., & Huertas, E. (2006). Guideline for quality standards for water reuse in Europe AquaRec. Barcelona: University of Barcelona.
 83. SEMARNAT. (1997). NOM-003-SEMARNAT-1997 Limites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público. México: Estados Unidos Mexicanos.

84. SEMARNAT, CONAGUA. (2007). Programa Nacional Hídrico. México, DF: Gobierno Federal.
85. SEMARNAT, G. F. (2008). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. . México, D.F.: Gobierno Federal.
86. SEMARNAT, S. d. (1997). NOM-003-SEMARNAT-1997 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público. México: Estados Unidos Mexicanos.
87. SIDUE, S. d., SFA, S. d., & CEA, C. E. (2008). Programa Estatal Hídrico 2008-2013. Mexicali: GobBC.
88. SSA, S. d. (1994). NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". México, D.F.: Estados Unidos Mexicanos.
89. Stagnitti, F., Hamilton, A., Versace, V., & Ierodiaconou, D. Wastewater reuse: environmental impacts and risk assessment. Warrnambool, Victoria, AUSTRALIA.
90. Stone, J. (2001). California Health Laws Related to Recycled Water "The Purple Book". Department of Health Services Division of Drinking Water and Environmental Management.
91. Systems, A. P. (27 de Marzo de 2005). Potabilización de Aguas. Recuperado el 24 de Marzo de 2011, de Aqua Purificación Systems: <http://www.aquapurificacion.com/agua-municipal.htm>
92. Tajim, A., Yoshizawa, M., Sakurai, K., & Minamiyama, M. (S/A). Establishment of Guidelines for the Reuse of Treated Wastewater. Okinawa: Sewerage and Wastewater Management Department, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT).
93. Tate, D. M. (1991). Principios del uso eficiente del agua. Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua. México: UNESCO.
94. UABC (Dirección). (2010). Iniciativa de reforma de la Ley de Aguas Nacionales [Documental].
95. U.S. Geological Survey. (1984). El Ciclo Hidrológico. U.S. Geological Survey.
96. Vargas Cerón, C. J. (2010, Septiembre 14). NEWater a tu salud. El Independiente de Hidalgo, pág. 1.
97. Vázquez Rossainz, D. (2003). Tesis Profesional. Estudio de Factibilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la UDLA-P. Cholula, Puebla, México: UDLAP.

98. Vera Villalobos, H. (2009). Planeación de Redes de Agua Residual Tratada. Mexicali: CESPМ.
99. Vigneswaran, S., & Sundaravadivel, M. (S/A). Recycle and Reuse of Domestic Wastewater. Sydney: Encyclopedia of Life Support Systems.
100. Volantin Robles, S. S., Calvillo Rodríguez, L. G., & Gomez Fuster, J. V. (s.f.). La Normativa Oficial Mexicana en el Sector Hidráulico. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
101. WCED. (1987). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
102. WHO, W. H. (2006). A compendium of standards for wastewater reuse in the Eastern Mediterranean Region. Nasr City.
103. Wintgens, T., & Melin, T. (2006). Handbook on feasibility studies for water reuse systems. AquaRec.
104. Wintgens, T., & Hochstrat, R. (2006). Report on integrated water reuse concepts. Aachen: RWTH Aachen University.
105. Yunén, R. E. (1997). Medio Ambiente Urbano: Marco Conceptual. En L. C. Mario Coyula, ¿Quiénes hacen ciudad? (págs. 64-91). Cuenca, Ecuador: Ediciones SIAP, Centro de Investigaciones CIUDAD.

