



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ING. DE SISTEMAS – PLANEACIÓN

PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE
AGUAS SUPERFICIALES: EL CASO DEL CANAL DE LA COMPAÑÍA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. VERÓNICA LOZADA ROMERO

TUTOR PRINCIPAL
BENITO SÁNCHEZ LARA, DR.

MÉXICO, D. F. AGOSTO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. García Martínez Mariano Antonio

Secretario: Dra. Rigaud Téllez Nelly

Vocal: Dr. Sánchez Lara Benito

1^{er}. Suplente: M.I. Macuil Robles Sergio

2^{do}. Suplente: M.I. Sosa Rodríguez Mario

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. 2013

TUTOR DE TESIS:

DR. SÁNCHEZ LARA BENITO

FIRMA

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mi familia; a mis papás que han estado a mi lado dando su apoyo incondicional en todo momento; mucho más en esta nueva etapa de mi vida. A mi hermana que ha sido motivación siempre. A Luis por su amor, apoyo y estímulo y a mi pequeño Leo que vino a darle un nuevo sentido a mis logros.

Agradezco al Dr. Benito Sánchez Lara por su dedicación y paciencia en esas correcciones que teñían de rojo mis avances pero que al final lograron concretar mi trabajo.

Y a todos los que han sido apoyo y guía en el paso por la maestría.

INDICE

RESUMEN	7
<i>CAPÍTULO 1.- SISTEMA HIDRÁULICO EN EL VALLE DE CHALCO</i>	8
1.1.- ANTECEDENTES HÍDRICOS	8
1.2.- PROBLEMÁTICA	12
1.3.- PROBLEMA	23
1.4.- OBJETIVO GENERAL.....	23
1.5.- JUSTIFICACIÓN.....	23
<i>CAPÍTULO 2.- EL SISTEMA COMO LCCI Y LA PLANEACIÓN ADAPTATIVA INTERACTIVA</i>	24
2.1.- INFRAESTRUCTURA GRANDE CRÍTICA Y COMPLEJA (LCCI).....	24
2.2.- EL SISTEMA HIDRÁULICO COMO LCCI	25
2.3.- PLANEACIÓN INTERACTIVA Y SU DISEÑO IDEALIZADO	26
2.4.- ESPECIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DESEADAS.....	28
2.5.-ESTRATEGIA DE TRABAJO.....	29
2.6.- CARACTERÍSTICAS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y VIABILIDAD OPERATIVA.....	29
CAPTACIÓN.....	29
TRATAMIENTO.....	29
DISTRIBUCIÓN	31
<i>CAPÍTULO 3.- REDISEÑO DEL LCCI Y EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS</i>	32
3.1.- CRITERIOS PARA CONSIDERAR AL SISTEMA HIDRÁULICO UN LCCI.....	32
3.2.- OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE MANEJO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DE SUS PROYECTOS RELEVANTES	34
3.3.- PROPUESTAS PARA EL PROGRAMA	35
PROPUESTA DE CAPTACIÓN	37
PROPUESTA DE TRATAMIENTO	38
PROPUESTA DE INYECCIÓN	40
PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN A INDUSTRIAS.....	43
PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	44
3.4.-ORGANIZACIONES RELEVANTES EN LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA.....	46
3.5.-EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
CAPTACIÓN.....	49

<i>TRATAMIENTO</i>	50
<i>INYECCIÓN</i>	50
<i>DISTRIBUCIÓN A INDUSTRIAS</i>	51
<i>DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE</i>	52
3.6.- VALIDACIÓN DE EXPERTOS	54
CAPITULO IV.-CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	59

INDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Canal a cielo abierto “Río de la Compañía”	9
Ilustración 2: Población histórica	12
Ilustración 3: Represa.....	16
Ilustración 4: Costalera para reparación de bordo	17
Ilustración 5: Tlabaestacado en el lado interior del bordo	18
Ilustración 6: Desazolve del río	18
Ilustración 7: Sobreelevación y reparación de los bordos	18
Ilustración 8: Enfoque sistémico de la problemática	22
Ilustración 9: Procedimiento para realizar un diseño idealizado	27
Ilustración 10: Ubicación de la cuenca del río de la Compañía.....	32
Ilustración 11: Diagrama de objetivos.....	34
Ilustración 12: Sistema actual de manejo de aguas residuales.....	35
Ilustración 13: Sistema propuesto para manejo de aguas residuales.....	36
Ilustración 14: Perfil hidráulico	39

RESUMEN

La cada vez mayor concentración de población en el Valle de Chalco ha venido ocasionando una demanda también creciente de agua potable, volviendo insuficientes las fuentes locales y haciendo de la sobreexplotación casi la única opción. Las consecuencias las observamos en suelos que sufren mayores asentamientos y pérdidas de capacidad, además de daños en la infraestructura hidráulica. No se deben dejar de lado otros problemas asociados como: contaminación del agua, pérdida de capacidad del acuífero e inundaciones. A lo antes mencionado deben ligarse las secuelas económicas, políticas y sociales. Considerando la importancia del área, la propuesta de este trabajo es diseñar un programa de aprovechamiento de aguas superficiales de los ríos San Francisco y San Rafael, teniendo como afluente el canal Río de la Compañía. Este programa considera proyectos y esquemas de manejo de los recursos orientados a la recarga del acuífero, fundamentalmente, considerando también los elementos de la problemática ya descrita.

Para llevar a cabo el diseño, el sistema hidráulico se concibe como un sistema CLIOS (mnemónico de Complex, Large-scale, Integrated, Open Systems) sujeto a un proceso de planeación a través del cual se conduce de la situación actual a una donde los parámetros de desempeño alcancen estados de mejora. El proceso de planeación considera como instancias: un diagnóstico, la formulación y evaluación de alternativas que constituyen el programa, y mecanismos de evaluación y control.

Las propuestas incluyen proyectos de captación, tratamiento de aguas, inyección al acuífero, distribución a industrias y distribución a la población; e incluyen estrategias fundamentales para su desarrollo. La evaluación de las propuestas muestra la necesidad de ahondar en la investigación para la factibilidad y viabilidad de la inyección y la distribución para el consumo humano y sugieren la necesidad de revisar la normatividad vigente para que sea la más conveniente a la sociedad y al medio ambiente.

Palabras clave: Valle de Chalco, LCCI, sistemas hidráulicos, sustentabilidad.

CAPÍTULO 1.- SISTEMA HIDRÁULICO EN EL VALLE DE CHALCO

1.1.- ANTECEDENTES HÍDRICOS

En México, las características físicas del territorio nacional producen condiciones hidrológicas muy particulares: sus casi dos millones de kilómetros cuadrados, la influencia de los 11 208 km de costa tanto en el Pacífico como en el Atlántico, su ubicación geográfica, particularmente en relación con los grandes cinturones de vientos y la trayectoria de los huracanes, su complicada topografía y su relieve accidentado con variaciones altitudinales, ocasionan intensos contrastes en la disponibilidad de agua.

El abastecimiento de agua potable para la creciente población de la ciudad de México representa serios problemas sociales, económicos y políticos. El continuo crecimiento urbano aunado al escaso financiamiento, ha limitado la capacidad del gobierno para extender la red de abastecimiento a las áreas que carecen del servicio, para reparar fugas y para tratar aguas residuales. Casi el 72% del abastecimiento de agua para la ciudad proviene del acuífero localizado bajo el área metropolitana, el cual ha venido padeciendo una considerable sobre explotación. Los niveles de agua del subsuelo se han venido abatiendo en el transcurso de los últimos 100 años, lo que ha provocado un hundimiento del subsuelo de la región. Como consecuencia, el nivel de la superficie del área metropolitana en algunas zonas ha sufrido un descenso de 7.5 m, con respecto al nivel de referencia original.

Lo anterior propicia condiciones para que existan más inundaciones en la ciudad, daños a la infraestructura, especialmente a redes de agua potable y de drenado. Estas dificultades combinadas con el manejo inadecuado de los desechos peligrosos, provocan que el acuífero y el sistema de distribución sean vulnerables a la contaminación, con los consecuentes riesgos a la salud pública.

El presente trabajo pretende analizar la situación del manejo del agua en una zona particular que llama la atención por la acelerada aparición de los fenómenos descritos debidos principalmente a la composición estratigráfica de la región y el uso que se ha dado al suelo. Se trata del municipio de Chalco en la cercanía del canal "Río de la Compañía". En la imagen No. 1 se puede apreciar el desnivel actual entre el bordo del canal y el nivel del suelo en el que se encuentran los habitantes; esta situación muestra de manera evidente el riesgo que existe al presentarse lluvias extraordinarias que generen variaciones en el nivel hidráulico y con ello el desbordamiento del cauce y la invasión de la zona urbana.



Ilustración 1: Canal a cielo abierto “Río de la Compañía”

El río de la Compañía es el cauce principal de desfogue de aguas pluviales y residuales de la zona de Chalco, Valle de México e Ixtapaluca, además de los nuevos desarrollos urbanos en el corredor de la carretera federal y de la autopista a Puebla. Su trayectoria inicia en la confluencia de los ríos San Francisco y San Rafael, al oriente de la cuenca del Valle de Chalco y se une al sistema de canales del ex Lago de Texcoco en el bordo Xochiaca. En su recorrido atraviesa actualmente zonas densamente pobladas, por lo que su falla provocaría enormes pérdidas económicas y amenazaría la vida de la población.

Las actuales estructuras que forman la conducción, bordos, bermas, rampas de acceso, etc. se ubican en suelos de diferentes características, desde roca en las faldas del cerro Tlapacoya, depósitos de pie de talud cerca del mismo o de El Pino, y depósitos aluviales en las proximidades al inicio del actual Río, hasta arcillas muy blandas del ex lago de Chalco con espesores de más de 80 metros, lo que produce asentamientos importantes, mayores a los 40 cm por año; esto ocasiona pérdida de pendiente y con ello la pérdida de capacidad de conducción y del bordo libre, además de movimientos en los terraplenes que forman los bordos. Estos factores, aunados a los factores hidráulicos e hidrológicos como las lluvias torrenciales de mayo de 2000 y febrero de 2010, produjeron una falla del bordo izquierdo que inundó el Valle de Chalco y mantienen al Río a un nivel de riesgo importante para la población. Además, la altura actual de los bordos alcanza en algunos tramos valores de más de nueve metros y es necesario ejecutar anualmente costosos trabajos de mantenimiento con el fin de tener la pendiente hidráulica necesaria para su funcionamiento.

Para disminuir los riesgos de inundación y satisfacer las necesidades de saneamiento de las aguas residuales que genera la población asentada en la

zona Metropolitana del Valle de México se llegó a un acuerdo para establecer una serie de acciones que desarrollen diseños y construcción de obras entre las que se tienen las de reforzamiento y ampliación de la infraestructura de drenaje para el desalojo de aguas residuales y pluviales del proyecto de Saneamiento del Valle de México.

La Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, ha elaborado estudios, para tener un mejor funcionamiento del sistema hidráulico entre los que podemos mencionar:

- “Estudio Integral para mejorar el Funcionamiento Hidráulico del Río de La Compañía del Valle México”, elaborado en 1999, con el objetivo de relacionar aspectos hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos de las cuencas de aportación del río de La Compañía, para encontrar alternativas de solución a los problemas de desbordamientos en la zona.
- “Estudio Hidrológico y Control de Avenidas en los Ríos del Oriente de la Cuenca del Valle de México”, elaborado en 1997, en el cual se describe un panorama muy general del funcionamiento de estos cauces.
- “Proyecto Ejecutivo del Dren de Alivio del Río San Francisco, en el Estado de México”, elaborado en 1997, con el cual se pretende desalojar las derivaciones hacia la cuenca del Río Santa Mónica.
- “Estudio de Saneamiento del Río de La Compañía, México”, elaborado en 1997, el cual establece un inventario de la cantidad y calidad de las descargas de aguas residuales, domésticas e industriales, además de determinar las acciones de prevención y control de contaminantes sobre la cuenca del Río de La Compañía.
- “Estudio de Mecánica de Suelos realizado para el Puente Peatonal El Molino, ubicado en las márgenes del canal de La compañía en el municipio de Ixtapaluca”, en el cual se realizan los análisis geotécnicos en ambas márgenes del canal con el fin de determinar si es posible la construcción de la cimentación sobre los terraplenes del canal.

Otras instituciones han realizado para el mismo fin estudios como:

- “Análisis del Funcionamiento del Río de La Compañía y Análisis del Funcionamiento Hidráulico del Sistema de Alcantarillado propuesto para el Drenaje del Pueblo de Xico (Chalco Nuevo)”, elaborado en 1994 por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).
- “Estudios y Proyectos sobre la Cuenca del Río de La Compañía”, elaborados por la Comisión del Agua del Estado de México del Gobierno del

Estado, los cuales contienen la ubicación de los colectores por gravedad y cárcamos de bombeo que descargan a dicho río.

- “Modelo del Funcionamiento Hidráulico del Sistema de Canales y Lagos de Texcoco”, elaborado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- “Recursos de Agua en la Cuenca de Chalco, Hidrología de la Cuenca de Chalco”, elaborado por la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.

Todos estos estudios han contribuido a la creación de un acervo informativo importante. Tener un conocimiento de la cantidad de agua y las condiciones hidráulicas del canal es importante para el desarrollo de proyectos de manejo, conocer la infraestructura que sirve de apoyo para el funcionamiento actual es de vital importancia, pensar en nuevas formas de desalojar el agua residual hacia otras zonas también ha brindado alivio a los momentos de emergencia, pero ninguno de estos estudios ha podido integrar en sus propuestas las acciones básicas para resolver el problema, ni muestra la actual visión de buscar la sustentabilidad de la cuenca.

Cada documento persigue un objetivo específico que da alivio a una situación de emergencia, con resultados que satisfacen el objetivo inicial, siendo este aislado a muchos otros problemas que son inherentes a la situación de conflicto. Incluso cuando algunos de los programas y/o estudios son incrementales y ofrecen mayor alcance en sus soluciones, estos se mantienen aislados, no sistémicos, y dan cabida a que los problemas permanezcan latentes.

Es decir, que en tanto no se entienda que la problemática es un sistema de elementos con fuerte interrelación que no requieren ser reparados de forma aislada, sino como un conjunto causal; no será posible responder a la situación y seguiremos contando con un plan de reacción a los desastres que se vayan presentando.

1.2.- PROBLEMÁTICA

Debido a la complejidad en la que se encuentra inmersa la situación actual del manejo de agua en la zona de estudio, es conveniente la asimilación de esta como una problemática que nos permita la interrelación de las diversas causas y sus efectos como un complejo que no puede verse en forma lineal. Un primer acercamiento al problema permite el ordenamiento de los elementos con sus relaciones; pensemos en este como un problema de configuración de los esquemas de extracción, abastecimiento y manejo del agua en la cuenca de Chalco.

DESCRIPCIÓN DE CAUSAS Y EFECTOS RELEVANTES

CONCENTRACIÓN DE LA POBLACIÓN

Tomando como base los datos reportados por el INEGI, se puede observar un crecimiento en la zona constituido por diversos asentamientos irregulares o en zonas de alto riesgo. En la siguiente tabla se muestran los valores que ha presentado población a partir de 1950 y hasta 2010; la gráfica marca de forma más clara la tendencia de crecimiento en el municipio.

TABLA 1: POBLACIÓN HISTÓRICA

AÑO	TOTAL	HOMBRES	%	MUJERES	%
1950	22.056	11.060	50,1	10.996	49,9
1960	29.725	15.087	50,8	14.638	49,2
1970	41.450	20.701	49,9	20.749	50,1
1980	78.393	39.461	50,3	38.932	49,7
1990	282.940	141.527	50,0	141.413	50,0
1995	175.521	87.833	50,0	87.688	50,0
2000	217.972	107.500	49,3	110.472	50,7
2005	257.403	125.586	48,8	131.817	51,2
2010	310.130	151.403	48,8	158.727	51,2

*INEGI



Ilustración 2: Población histórica

Por medio de la gráfica podemos observar un crecimiento acelerado de la población al paso de los años. Situación que se manifestará de manera exponencial en los años siguientes. Es importante mencionar que el comportamiento que se observa en cuanto a la población y sus características, en el periodo de 1990 a 1995, obedece a la creación del municipio de Valle de Chalco Solidaridad el cual se integró con una porción de Chalco.

SOBREEXPLORACIÓN

En 1936 cuando se advierten deficiencias en las fuentes de abastecimiento superficiales; la población había aumentado en forma considerable hasta rebasar el millón de habitantes. Durante ese año, para el abasto de agua potable a la población, se perforaron los primeros 18 pozos profundos, de entre 100 y 200 metros, lo que marcó el inicio de la explotación intensiva del acuífero. De 1936 a 1944 se perforaron 93 pozos en el centro y en la periferia 93. La extracción de agua potable de los pozos mencionados provocó hundimientos en el centro a razón de: 16 centímetros por año. El más drástico ocurrió entre 1948 y 1952; precisamente en 1951 la ciudad se hundió en promedio 46 centímetros.

Como parte de los incrementos en el volumen de agua abastecida, en 1956 se concluyó el sistema de pozos Chiconautla, ubicados al norte de la ciudad; 40 de ellos se perforaron con una profundidad media de 150 metros. En 1964 la población del Distrito Federal era de 5.8 millones con un abastecimiento de 22.2 metros cúbicos por segundo (mcs). La política de explotar más el subsuelo continuó a pesar de contar ya con el abastecimiento externo de Lerma: obtener más agua mediante la extracción del líquido en el Valle, pospuso acciones más energéticas para tratar de crear una conciencia sobre el uso racional del agua y evitar fugas en las redes de distribución, detectadas desde entonces.

Desde 1964 y hasta 1975, se incrementaron los caudales con la perforación de 50 pozos profundos más en Xochimilco, Tláhuac y Ciudad Netzahualcóyotl, así como en la zona norte, en los Reyes y Teoloyucan. Con todos ellos se logró aumentar el caudal a 9.5 m³/seg para entonces el agua disponible para consumo humano, la industria y los servicios ascendía a 32 m³/seg y era consumida también por la población de los municipios conurbados del estado de México y que, sumada a la del Distrito Federal, sumaba 11 millones de habitantes.

De acuerdo a los datos de la Comisión Nacional del Agua, para el año de 1996 oficialmente estaban registrados y en operación 910 pozos profundos en el D.F., en el estado de México 1,530, y en los territorios de Hidalgo y Tlaxcala pertenecientes a la cuenca, 306. Sin embargo, hay que hacer notar que a pesar de la mayor cantidad de pozos que existen en el estado de México respecto al

D.F., se obtiene igual volumen de extracción de agua en ambas entidades. No se conoce con certeza si ello se debe a la mayor profundidad de los pozos en el D.F., o bien a una mayor disposición de agua en sus mantos freáticos.

HUNDIMIENTOS

En 1947 el doctor Nabor Carrillo demostró que la ciudad de México se hundía por la extracción de agua del acuífero, calculada en 7.2 m³/seg. Sus investigaciones fueron determinantes para imponer la veda sobre la explotación de los acuíferos en el centro. A partir de entonces los nuevos pozos se hicieron en el sur, principalmente en Chalco y Xochimilco; los más antiguos fueron reemplazados por otros cuya profundidad fue ya de 400 metros.

El período más crítico de hundimiento de la ciudad se sufrió a mediados del presente siglo. Entre 1950 y 1980 la zona central se hundió 5 metros. En la zona lacustre del sur y en el ejido de San Gregorio, ubicado entre el canal de Chalco y Xochimilco, hubo en el mismo período, hundimientos de 4 metros.

Registros confiables muestran de 1983 a 1992 hundimientos anuales alrededor del Aeropuerto Internacional de entre 15 y 25 centímetros; de 10 en el Centro Histórico, de entre 10 y 15 centímetros en de Xochimilco y Tláhuac. Actualmente la situación no ha variado pues el hundimiento medio anual en el Centro Histórico es de 10 centímetros, en Xochimilco de 15; y de 20 a 25 en el Aeropuerto Internacional. El mayor se tiene en Ciudad Netzahualcóyotl: 30. Los ritmos de hundimiento se reducen en las zonas no lacustres, como Azcapotzalco a tan solo entre 2 y 5 centímetros anuales.

Una prueba visual reciente del hundimiento de la ciudad se aprecia en una banca ubicada en la Fuente de las Cibeles, inaugurada sobre el piso en 1980. Una fotografía de julio de 1993 muestra hundimientos en esa zona de 4 centímetros anuales; otra de octubre del año pasado, los registra mayores: de 5 centímetros. La cifra oficial de 7 centímetros promedio anual tendría entonces que tomarse como lo que es: un promedio que no refleja los valores máximos registrados en zonas convertidas hoy en muy vulnerables, principalmente el Aeropuerto, la parte central de la ciudad y las chinampas de la región lacustre del sur, con hundimientos mayores a 15 centímetros anuales.

En síntesis, la parte central de la ciudad de México, específicamente la Catedral Metropolitana, se ha hundido 12.5 metros desde su construcción iniciada a fines del siglo XVI. De ellos, 7.5 han sido en este siglo. Los estudios coinciden en que la ciudad ha sufrido en las partes más críticas hundimientos de entre 8 y 10 metros en los últimos 100 años, es decir casi un metro cada 10 años.

INUNDACIONES

La zona sur-oriente del Valle ha crecido aceleradamente en el Estado de México, sobre todo en los municipios de Chalco e Ixtapaluca. El desalojo de las aguas negras depende básicamente del río de La Compañía, que conduce los escurrimientos hacia el norte, hasta descargarlos en el Dren General del Valle y de ahí al Gran Canal del desagüe; sin embargo debido a los factores mencionados en el esquema, este presenta deficiencias en la capacidad para drenar tal cantidad de agua en las condiciones actuales.

Este problema se hizo patente la noche del 31 de mayo del año 2000, se presentó en el río de La Compañía, una avenida de aproximadamente 42 m³/s, provocada por precipitaciones extraordinarias en la parte alta y media de la cuenca del mismo río.

En la estación climatológica San Lucas Chalco, Estado de México, se registraron lluvias de 40.5, 3.2 y 29.2 mm los días 29, 30 y 31 de mayo de 2000, respectivamente. Las lluvias máximas históricas registradas para esos días eran 10.5, 20.8 y 25.6 mm durante el periodo 1961 a 1994. Los valores medios de lluvia para los días 29, 30 y 31 de mayo son 2.2, 2.6, 2.6 mm, respectivamente, por lo cual las lluvias registradas los días 29 y 31 de mayo de este año son nuevos máximos históricos y resultan atípicas e impredecibles. Las lluvias en la parte alta de la cuenca, fueron de 10.5 mm en la estación climatológica Col. Manuel Ávila Camacho y 12.5 mm en la estación San Rafael, que sumados a las aportaciones de las plantas de bombeo del drenaje urbano de los municipios vecinos, sobrepasaron la capacidad del río.

Como consecuencia de esta avenida extraordinaria, aguas abajo del cruce con la autopista, el bordo de la margen izquierda del río de La Compañía se socavó y falló estructuralmente, colapsándose, lo que provocó la inundación de 80 ha de las colonias vecinas en los municipios de Valle de Chalco, Chalco e Ixtapaluca.

Ante la emergencia que este hecho constituyó, la Comisión Nacional del Agua evaluó los daños y se avocó a iniciar los trabajos de rehabilitación, en coordinación con las autoridades municipales y estatales, Protección Civil y las Secretarías de Salud y de la Defensa Nacional. A estos trabajos en conjunto, se les denominó "Operativo Chalco".

La avenida presentada en el río produjo la erosión del bordo en una longitud de 15 m, además de daños en los taludes interiores del canal en unos 700 m y socavación de la plantilla del canal con profundidades máximas de aproximadamente siete metros. La inundación producida, además de afectar a la población, ocasionó la interrupción del tránsito en la autopista México-Puebla

y la imposibilidad de desalojar el agua de la inundación, ya que el drenaje de la zona se realiza precisamente a través del río de la Compañía.

Una más fue la inundación de aguas negras ocurrida la madrugada del 5 de febrero de 2010 afectó más de 2 mil viviendas Las aguas negras del canal La Compañía inundaron las colonias Unión de Guadalupe, Agrarista, Culturas de México y Jacalones, en el vecino municipio de Chalco, por lo cual la Secretaría de Gobernación emitió una “declaratoria de desastre” para esta localidad, donde hay al menos otras 500 viviendas inundadas.

De la misma forma se tienen desastres por inundación en diferentes puntos del Valle de México que requieren solución urgente para evitar las consecuencias sociales, económicas y políticas que estas conllevan.

Actividades Organizadas por la Comisión Nacional del Agua

Ante la emergencia, la Comisión Nacional del Agua, coordinada por la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, emprendió las siguientes acciones:

a) Emergentes:

- Construcción de una represa dentro del cauce para poner en operación el tramo hacia aguas abajo de la ruptura.



Ilustración 3: Represa

- Reparación del bordo dañado mediante la colocación de costales llenos de arena limosa, con las complicaciones propias del caso debido a que la lluvia constante en la zona provocó un flujo permanente de azolve y aguas residuales, dificultando el acceso de maquinaria y personal al lugar.



Ilustración 4: Costalera para reparación de bordo

- Bombeo del agua de la zona anegada del Valle de Chalco al río de La Compañía, una vez realizados los trabajos emergentes de reparación del bordo.

b) Rehabilitación:

- Trabajos de estabilización permanente del bordo en la zona afectada, mediante tablestacado en el lado interior del bordo, así como de un dren vertical de arena graduada al lado exterior del bordo izquierdo, para drenar las filtraciones y aumentar la seguridad del talud.



Ilustración 5: Tablestacado en el lado interior del bordo

- Desazolve del río.



Ilustración 6: Desazolve del río

- Sobreelevación y reparación de los bordos



Ilustración 7: Sobreelevación y reparación de los bordos

c) Complementarias:

La Gerencia Técnica de GRAVAMEX, participó en las acciones emprendidas para el Operativo “Chalco”, por medio de la Subgerencia del Consultivo Técnico y Normas y la Subgerencia de Hidrología e Ingeniería de Ríos. Esta última, realizó trabajos complementarios bajo el Programa denominado “El Molino”.

DAÑOS A INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

A causa de los asentamientos sufridos en algunas regiones del Valle de México se presenta un problema relacionado con la infraestructura hidráulica; esta pierde el desnivel de servicio con el que fue diseñado y por lo tanto pierde la capacidad de descarga o conducción que se requiere; esto forma parte integral de la situación de conflicto ya que propicia las inundaciones en el caso de descargas y la falta de presión en las tuberías para el caso de conducción.

Resulta claro expresar que los costos por el mantenimiento o la construcción de nuevos sistemas de abastecimiento y drenaje de aguas son de gran magnitud y complicada gestión.

Un problema común es el daño en las instalaciones domiciliarias que existen en las zonas con mayores asentamientos; se presentan de igual forma pérdidas de capacidad de abasto y drenado y adicionalmente la rotura de las tuberías de los pobladores.

Estas evidencias de roturas en las tuberías de agua potable, están incrementando los altos volúmenes de fugas y desperdicios en el sistema.

ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y PROBLEMAS SOCIALES

Existe otro factor de la problemática relacionado con la salud y el ambiente.

Si nos referimos a los asentamientos podemos hablar de la posible presencia de hidrocarburos en el subsuelo y en los mantos freáticos superficiales por las fracturas en las tuberías generales de abasto, así como de los depósitos subterráneos de las gasolineras. En 1997 algunos medios informaron del descubrimiento de hidrocarburos a 3 metros de profundidad y de fugas de gasolina en estaciones del Metro y drenajes domiciliarios. La presencia comprobada de hidrocarburos en el subsuelo y mantos freáticos es una llamada de alerta por su elevada explosividad; más aún si a corto y mediano plazo no se tiene previsto disminuir el volumen de extracción de agua y, por ende, los ritmos del hundimiento.

Por otra parte se tienen los problemas de salud; preocupa de manera especial el alcantarillado sanitario, por ser un potencial aportador de contaminación para el nivel freático y para el acuífero, puesto que puede ceder agua verticalmente hacia el acuífero subterráneo. El canal de la compañía opera parcialmente a cielo abierto, lo que propicia las infecciones al conducir aguas residuales con alta concentración de microorganismos. En la zona de Iztapalapa por ejemplo existen cada vez mayores cantidades de fierro y manganeso, entre otros minerales, lo que ha obligado a instalar plantas desaladoras junto a muchos pozos, con importantes inversiones y altos costos de operación y mantenimiento, para incorporar a las redes agua de calidad medianamente aceptable; es previsible que esta situación se extienda hacia la zona sureste del valle como Chalco e Ixtapaluca, que no cuenta con otra fuente de abastecimiento que los pozos locales.

GASTOS POR MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN

La Comisión Nacional del Agua a través de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, tiene un programa anual permanente de supervisión y mantenimiento de los ríos a su cargo, con el fin de tener un funcionamiento hidráulico adecuado y evitar en lo posible, la ocurrencia de desbordamientos. Para el caso del río de La Compañía, ha sido permanente la asignación anual de recursos para conservación y mantenimiento.

En el lapso de 1998 a 2000, la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, realizó diversas acciones de conservación y mantenimiento del río de la Compañía, principalmente el desazolve y rectificación del encauzamiento, tratamiento de filtraciones, sellado de grietas y tratamiento de fisuras, sobreelevación de los bordos, limpia y deshierbe de taludes, protección de taludes contra erosión en la descarga de cárcamos, sellado de juntas de muros de concreto y los trabajos de supervisión de las obras correspondientes. La inversión fue de \$6,382,687.95 y \$8,858,374.12 en 1998 y 1999, respectivamente. Para 2000, se formalizó un contrato para desazolvar el cauce el día 2 de mayo, con importe de \$2,057,022.77, cuya terminación está programada para agosto, y la empresa iniciara los trabajos a finales de mayo.

A continuación se presenta una tabla en la que se resumen las causas y efectos que se describieron anteriormente. De esta forma se pretende ver la relación causal que puede existir entre los diferentes aspectos de la problemática tanto en lo físico, en lo referente a infraestructura, suelo, zonas de recarga y del acuífero, etc; y en lo social, analizando los aspectos más relevantes. En la tabla 2 se muestran las relaciones causa-efecto.

Tabla 2.- Relación causa-efecto		
	IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS	EFFECTOS
SOCIALES	Concentración de la población	Mayor demanda de agua potable
	Contaminación de cuerpos de agua	Alteración de la calidad de agua
	Alteración de la calidad de agua potable	Enfermedades/ Gasto por prestación de servicios
	Sobreexplotación	Hundimientos
FÍSICAS	Insuficiencia de fuentes locales	Sobreexplotación
		Importación de agua de otras cuencas
	Disminución de zonas de recarga	Reducción por hectárea de 205 millones de litros anuales de recarga natural
	Asentamientos	Pérdida de capacidad de reserva
		Daño en infraestructura hidráulica
	Hundimientos	Formación de grietas y fisuras superficiales
		Inundaciones
Inundaciones	Problemas sociales	
	Pérdida de infraestructura pública	
	Pérdida de productividad social	

ENFOQUE SISTÉMICO DE LA PROBLEMÁTICA.

La intención de la siguiente imagen es mostrar la interrelación entre los elementos, de esta forma se justifica la necesidad de mostrar el problema en conjunto y buscar una solución integral que permita hacer un cambio significativo en las necesidades de la población y los requerimientos de infraestructura y planeación requeridos dentro del conflicto.

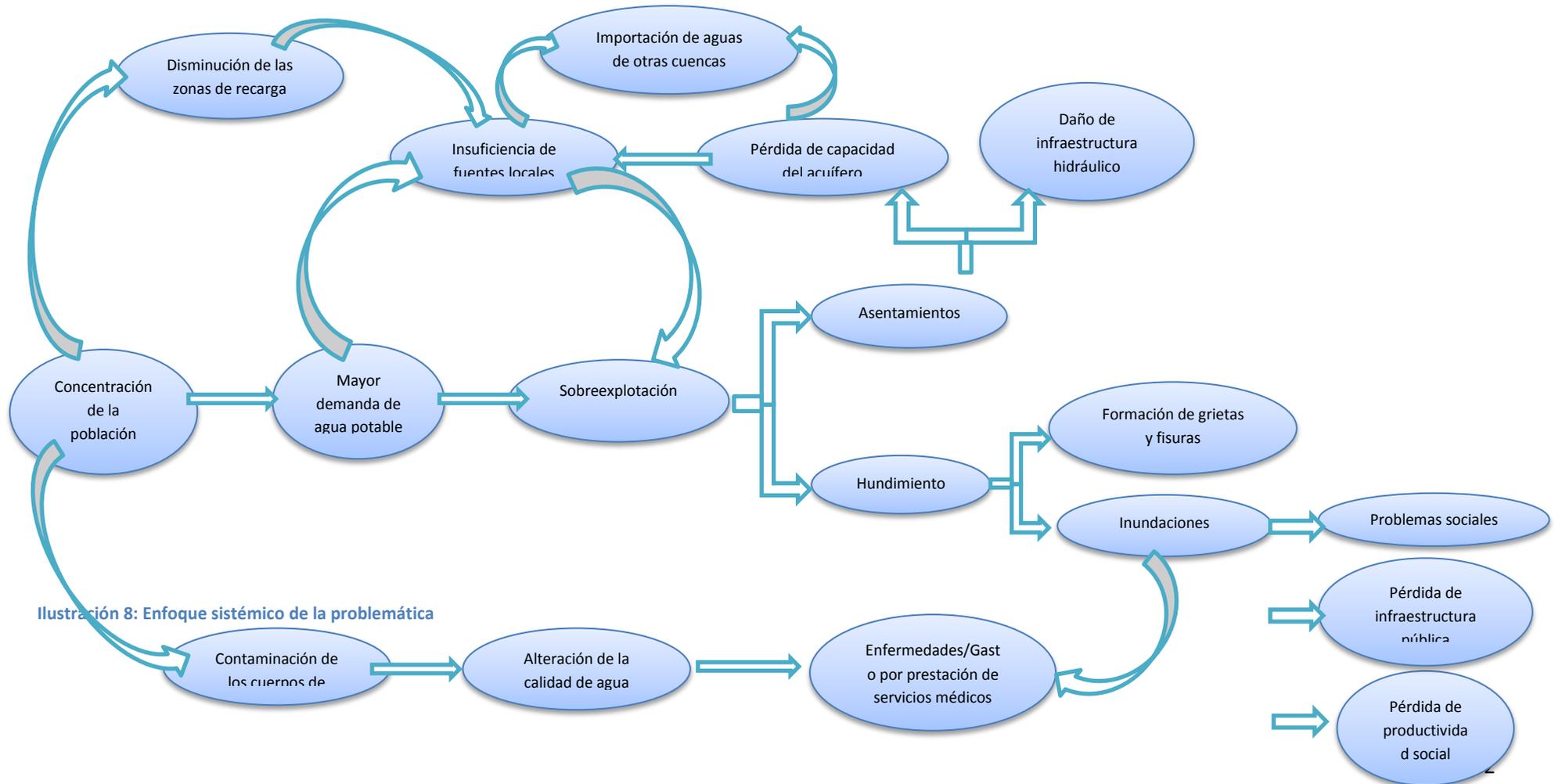


Ilustración 8: Enfoque sistémico de la problemática

1.3.- PROBLEMA

Una vez que se llevó a cabo la investigación documental y con la revisión de la literatura correspondiente se puede considerar que la necesidad de resolver los problemas que enfrenta el Valle de México con su sistema de aguas ha sido abordada desde diferentes ángulos independientes. Como se describe al final de la sección de antecedentes, las acciones que se han realizado en la zona crítica, han mostrado un carácter aislado, incremental, no sistémico, que mantiene latente la existencia de emergencias y conflictos. El problema entonces puede vislumbrarse como la necesidad de ver el problema de forma sistémica y entendiéndolo como una red compleja de sistemas que interactúan de forma crítica para poder crear en base a esto un programa que permita abordar eficazmente la situación actual.

1.4.- OBJETIVO GENERAL

Diseño de un programa de aprovechamiento de aguas superficiales en el municipio de Chalco concibiendo al sistema hidráulico como crítico y complejo que puede ser planeado para reconfigurar esquemas de abastos y explotación y mitigar inundaciones y hundimientos.

1.5.- JUSTIFICACIÓN

La reconfiguración del sistema actual de manejo de aguas; desde la extracción hasta el manejo de las aguas residuales que se descargan sin algún tipo de tratamiento pretende mitigar la problemática descrita con anterioridad; en este sentido se tienen diferentes perspectivas en los beneficios esperados de esta acción.

Los beneficios más relevantes esperados en la ejecución de la propuesta permitirían beneficiar a la comunidad en aspectos como: la disminución de inundaciones en la zona crítica del canal, la mejora de la calidad del agua y la disminución de brotes infecciosos debidos a las aguas que circulan por el canal, así como una mayor cobertura de abastecimiento.

Por su parte el entorno se verá beneficiado al crear un espacio sustentable que permita el rehúso de aguas negras, la eventual disminución de la extracción y la paulatina disminución de los asentamientos debidos a la sobreexplotación.

Sin duda llegar a estos objetivos será también benéfico para las autoridades correspondientes en cuanto a los trabajos de atención a las emergencias y a las afectaciones generadas por las inundaciones. Además de ser un referente de los beneficios que conlleva contar con un sistema de manejo de aguas que no es aislado, que integra aspectos físicos, económicos, sociales y ambientales y que al ser sistémico genera sustentabilidad para la cuenca.

CAPÍTULO 2.- EL SISTEMA COMO LCCI Y LA PLANEACIÓN ADAPTATIVA INTERACTIVA

En este capítulo se pretende conocer las características de un LCCI para verificar su concordancia con el sistema hidráulico en estudio, de forma que se puedan empalmar sus condiciones físicas y de funcionamiento para un mejor análisis en el momento del rediseño.

2.1.- INFRAESTRUCTURA GRANDE CRÍTICA Y COMPLEJA (LCCI)

Una infraestructura crítica se define como una red distribuida de procesos repartidos e interdependientes que trabajan en colaboración y sinérgicamente para producir y distribuir un servicio esencial (Balducelli 2003), y es usado por los gobiernos para describir los activos que son esenciales para el funcionamiento de una sociedad y economía. Son aquellas instalaciones físicas e información tecnología, redes, servicios y activos que, en caso de interrupción o destrucción, tendrían repercusiones graves sobre la salud, la seguridad, la protección, el bienestar económico y el funcionamiento efectivo de la sociedad y del gobierno (Diu, 2007). Esta infraestructura crítica puede ser:

- Pública o privada
- Local, regional, nacional e internacional
- Grande y compleja. Normalmente una red de redes
- Con una fuerte interdependencia entre ellas
- Con una dependencia que se incrementa en tecnologías de la información y redes de comunicación
- Son eje vital de las sociedades modernas
- Con una fuerte conexión económica y social

Las instalaciones comúnmente asociadas con el término son:

- Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica
- Producción, transporte y distribución de gas
- Producción, transporte y distribución de petróleo y sus productos
- Telecomunicaciones
- Suministro de agua (agua potable, aguas residuales/aguas residuales provenientes de las aguas superficiales (por ejemplo, diques y esclusas))
- Agricultura, producción y distribución de alimentos
- Salud pública (hospitales y ambulancias)
- Sistemas de transporte (de suministro de combustible, red ferroviaria, aeropuertos, puertos)
- Servicios financieros (banca)

- Servicios de seguridad (policía, militares)

Las infraestructuras críticas con su evolución se han convertido en sistemas altamente interconectados e interdependientes, dando paso a un término conocido como Grandes Infraestructuras Críticas y Complejas (LCCI, Large Complex Critical Infrastructure). En ellas se presenta una interdependencia, es decir, una dependencia mutua del mismo tipo de infraestructuras pertenecientes a diferentes regiones o países y una interdependencia, esto es, una dependencia mutua entre los diferentes tipos de infraestructuras. Esta interdependencia puede ser:

- Física (servicios o materia prima empleadas para otra infraestructura)
- Informática (vínculos de información electrónica)
- Geográfica (uso de mismo corredor o de compartir instalaciones)
- Lógico (dependencia mercados financieros)

Los LCCI se caracterizan por tener diferentes capas, en las cuales se identifican diferentes sistemas que se interconectan de un nivel a otro para dar soporte al sistema de infraestructura (físicamente el mayor de estos).

Las intrusiones e interrupciones en una infraestructura de esta naturaleza podrían provocar fallos inesperados a otros sistemas e infraestructuras. El cómo manejar las interdependencias e intradependencias se convierte entonces en un problema importante, y el asunto de la seguridad de estas infraestructuras toma cada vez mayor relevancia. Las LCCI se encuentran a merced de diferentes tipos de amenazas: desastres naturales, errores e incidentes humanos y actos humanos perniciosos premeditados.

2.2.- EL SISTEMA HIDRÁULICO COMO LCCI

El servicio de abastecimiento de agua potable así como el manejo de las aguas negras forma parte de la infraestructura crítica de cualquier ciudad hoy en día dada su relevancia en el adecuado funcionamiento de la sociedad. En el caso del abastecimiento podemos hablar de infraestructura compuesta por redes físicas interconectadas de forma que permitan llevar agua potable a cada vivienda, estas redes estarán inmersas en un complejo sistema de extracción, conducción y almacenamiento en sitios con características específicas que permitan cumplir con los requerimientos de calidad establecidos por la ley. Para el manejo de las aguas negras ocurre algo similar, el sistema físico está compuesto por elementos de gran complejidad, desde la red de alcantarillado que permite la recolección en las calles hasta su traslado al sitio donde habrán de ser depositadas y en el mejor de los casos tratadas para su incorporación a una fuente natural previamente establecida. En la actualidad estos sistemas se ven complementados por sofisticados equipos de bombeo que permiten

desalojar las aguas que por el hundimiento del suelo han quedado con pendientes inversas para su manejo por gravedad.

Es precisamente en este aspecto en el que es posible ver a la red hidráulica como una infraestructura crítica dada la siguiente situación: la extracción de agua mediante pozos y el consecuente hundimiento del subsuelo han provocado graves efectos; el primero es el desnivel del drenaje general de la ciudad con respecto; por ejemplo, al Gran canal, uno de los desagües más importantes; uno más es la pérdida de capacidad de los desagües haciendo necesario el uso de grandes equipos de bombeo que eleven las aguas negras lo suficiente para su desalojo; los hundimientos han afectado también la infraestructura de abastecimiento y alcantarillado provocando fallas en las redes con consecuencias graves en servicio y en costos de detección y reparación de fugas. Cada uno de los acontecimientos descritos puede provocar situaciones críticas que pongan en riesgo el correcto funcionamiento de los sistemas y probables colapsos en el funcionamiento hídrico de la ciudad.

Además de los aspectos físicos, la infraestructura hidráulica se vuelve grande y compleja en sus interrelaciones de información y comunicación; la CONAGUA es el organismo central que funge como autoridad técnica, promotor de la participación social y de la gestión de los recursos tanto hídricos como bienes públicos inherentes; esta tarea es delegada en diferentes organismos, estatales, regionales y locales que precisan una coordinación de amplia magnitud y de compleja administración. En CONAGUA se llevan a cabo actividades diversas que lo colocan como eje del funcionamiento hídrico del país pero además convierte a las redes de redes en potenciales fuentes de desarrollo económico y social. Ya sea como generador de empleos en las diferentes obras hidráulicas así como en el crecimiento económico que se impulsa cuando la infraestructura cumple con las características requeridas para la creación de industrias, complejos habitacionales, etc.

Como se ha visto con las situaciones críticas presentadas en los años 2000 y 2010 y con el constante hundimiento regional, la zona del Canal de la Compañía es vulnerable a los efectos de la naturaleza; una avenida extraordinaria o incluso una avenida ordinaria aunada al mal uso del canal puede ocasionar graves consecuencias físicas, económicas, políticas y sociales.

2.3.- PLANEACIÓN INTERACTIVA Y SU DISEÑO IDEALIZADO

Ante la complejidad y estructura crítica de la problemática surge la necesidad de crear soluciones con expectativas altas basadas más en los fines que en los

medios, sin dejar a un lado las características propias de factibilidad, viabilidad y flexibilidad. Es en este punto que el marco de la planeación interactiva con su enfoque del Diseño Idealizado nos permite hacer una planeación atractiva y conveniente a los intereses de los involucrados en el actual sistema de manejo de aguas del canal de la compañía partiendo del diseño de un futuro deseado y construyendo a partir de este las alternativas para lograrlo.

De acuerdo con Ackoff el Diseño Idealizado de un sistema requiere cumplir con tres condiciones básicas: 1) técnicamente factible, 2) operacionalmente viable y 3) flexible.

En cuanto a factibilidad técnica no debe incorporar ninguna tecnología que actualmente sea desconocida o inaplicable. Se pueden incluir innovaciones tecnológicas siempre y cuando sean factibles. Para tener viabilidad operativa debe ser capaz de sobrevivir una vez que esté en funcionamiento, es decir; poder operar en el ambiente actual del sistema. Y será flexible si es capaz de tener un rápido aprendizaje y adaptación.

El proceso que se emplea para el diseño idealizado se muestra a continuación:

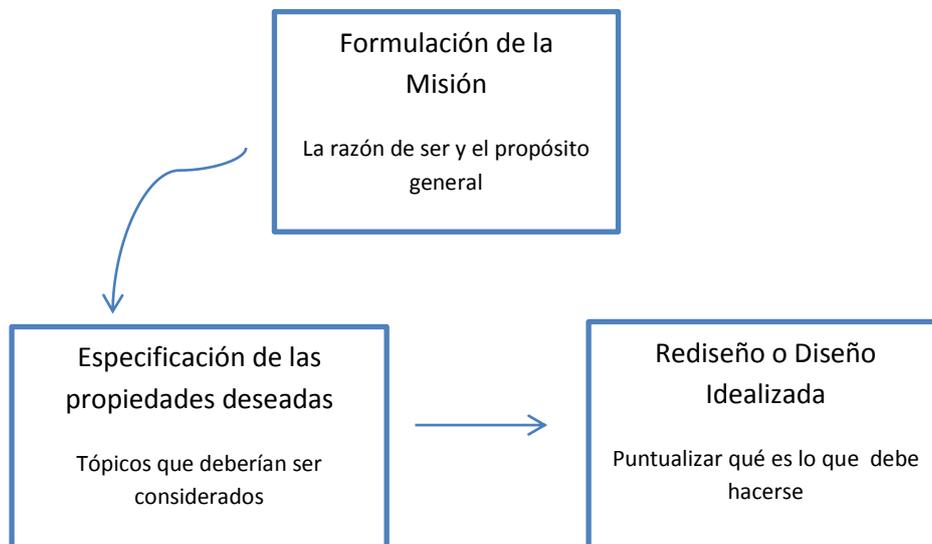


Ilustración 9: Procedimiento para realizar un diseño idealizado

La misión es la razón de tener o hacer del sistema. Es la manera en que el sistema incidirá en su ambiente para vivir en la práctica la visión establecida, o sea, son las formas de lograr alcanzar lo que se desea ser. En general la misión es un propósito general, puesto en palabras, que pretende poner en acción a toda la organización.

En la especificación de las propiedades deseadas se trata, señala Ackoff (2006), de hacer una declaración de las especificaciones del sistema mediante una lista de los tópicos que deben ser considerados. En este ejercicio se comienza con una lluvia de ideas y de alguna manera se va afinando con sucesivos aportes.

En la etapa del diseño deben convertirse las especificaciones en acciones o actividades, debe especificarse como debe obtener cada propiedad: elementos de diseño. El diseño idealizado es la formulación de los fines hacia los que la planeación se debe dirigir.

2.4.- ESPECIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DESEADAS

Teniendo clara la misión, que es el diseño de un programa de aprovechamiento de aguas concibiendo al sistema hidráulico como un LCCI, basaremos el desarrollo en los siguientes tópicos generales para obtener resultados en el corto, mediano y largo plazo de control, recarga y cobertura respectivamente:

1. Control de avenidas extraordinarias que ocasionan inundaciones en la zona crítica del canal de la Compañía.
2. Tratamiento de aguas negras y la consecuente mejora en la calidad del agua que se infiltra de forma natural, aunado a la disminución de brotes infecciosos debidos a las aguas que circulan por el canal.
3. Recarga del acuífero de forma constante que permitirá de forma paulatina la disminución de los asentamientos del suelo debidos a la sobreexplotación de los mantos.
4. Almacenamiento en tanques elevados para cobertura de abastecimiento.

2.5.-ESTRATEGIA DE TRABAJO

Dado que ya existe un sistema de manejo de aguas en la zona, podemos hablar de su rediseño. El primer aspecto a considerar es la visualización de forma sistémica de la situación, para este fin se consideró a la red hidráulica como una LCCI, esto me ha permitido identificar su estructura.

El siguiente punto es la realización de un ejercicio de diseño idealizado para elaborar propuestas de proyectos. Estos serán evaluados con criterios de factibilidad y viabilidad, todo considerando el marco de la planeación adaptativa interactiva, ya que se parte del diseño de un futuro deseado y la construcción de alternativas para lograrlo.

Se plantearán alternativas de solución a nivel de esquema de anteproyecto para dar solución a la problemática de agua potable, analizando las ventajas y desventajas de cada una de las opciones planteadas desde los puntos de vista, técnicos, financieros y ambientales.

2.6.- CARACTERÍSTICAS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y VIABILIDAD OPERATIVA

CAPTACIÓN

La propuesta considera el análisis de los recursos hídricos de la región, considerando las fuentes actuales y los sitios que pueden ser empleados para la construcción de la captación requerida, identificando en cada una de ellas las ventajas y desventajas que presenten en relación a:

- Disponibilidad
- Calidad de agua
- Infraestructura existente
- Conflictos por el uso de agua
- Otros

Con base en estos planteamientos se podrán definir las opciones de tipo y ubicación de la captación y posteriormente evaluar la factibilidad y viabilidad de lo propuesto.

TRATAMIENTO

En este apartado se analiza la opción de tratamiento para la desinfección y potabilización para entregar a la población agua potable y para inyectar al acuífero de acuerdo a las normas vigentes. Así como el uso de indicadores de calidad del agua que permitan determinar si es apta o no para consumo humano una vez que haya sido tratada.

La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal.

La primera determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el aumento de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales.

Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa.

Según la “Guía para la elaboración de planes maestros para el mejoramiento de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento” de la Comisión Nacional del Agua, la discusión de los impactos benéficos debe incluir por lo menos:

- Población a beneficiar por las obras de agua potable
- Beneficios por el tratamiento de las aguas residuales
- Impactos sobre la salud pública y calidad de vida en general

DISTRIBUCIÓN

En la propuesta de distribución se analiza la factibilidad para distribuir cierta cantidad del agua tratada hacia las industrias y zonas comerciales cercanas. Se busca disminuir el uso de agua de extracción directa de pozos para actividades que no requieren el grado de agua potable, o que puedan sin conflicto legal utilizar aguas tratadas para sus diferentes actividades.

Se consideran otros proyectos en los que haya sido ejecutado con éxito este sistema como un referente de viabilidad.

De la misma forma se analiza la factibilidad de enviar agua tratada con la calidad requerida para consumo humano, revisando la normatividad y los requerimientos para hacerlo de forma directa.

A demás se propone que una vez que el agua ha sido tratada se re-inyecte el acuífero, en esta atapa será necesario analizar:

- Calidad de agua
- Costos
- Normatividad vigente
- Otros

CAPÍTULO 3.- REDISEÑO DEL LCCI Y EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS

3.1.- CRITERIOS PARA CONSIDERAR AL SISTEMA HIDRÁULICO UN LCCI

El primer aspecto a considerar para tratar la zona de estudio como un LCCI es su tamaño, como se puede apreciar en la siguiente ilustración, la zona de aportación está formada por dos ríos que además de contener los volúmenes de agua generados por precipitación de su propia cuenca, también conduce las aguas residuales generadas por la población de los municipios de Chalco, Valle de Chalco, Ixtapaluca, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl.

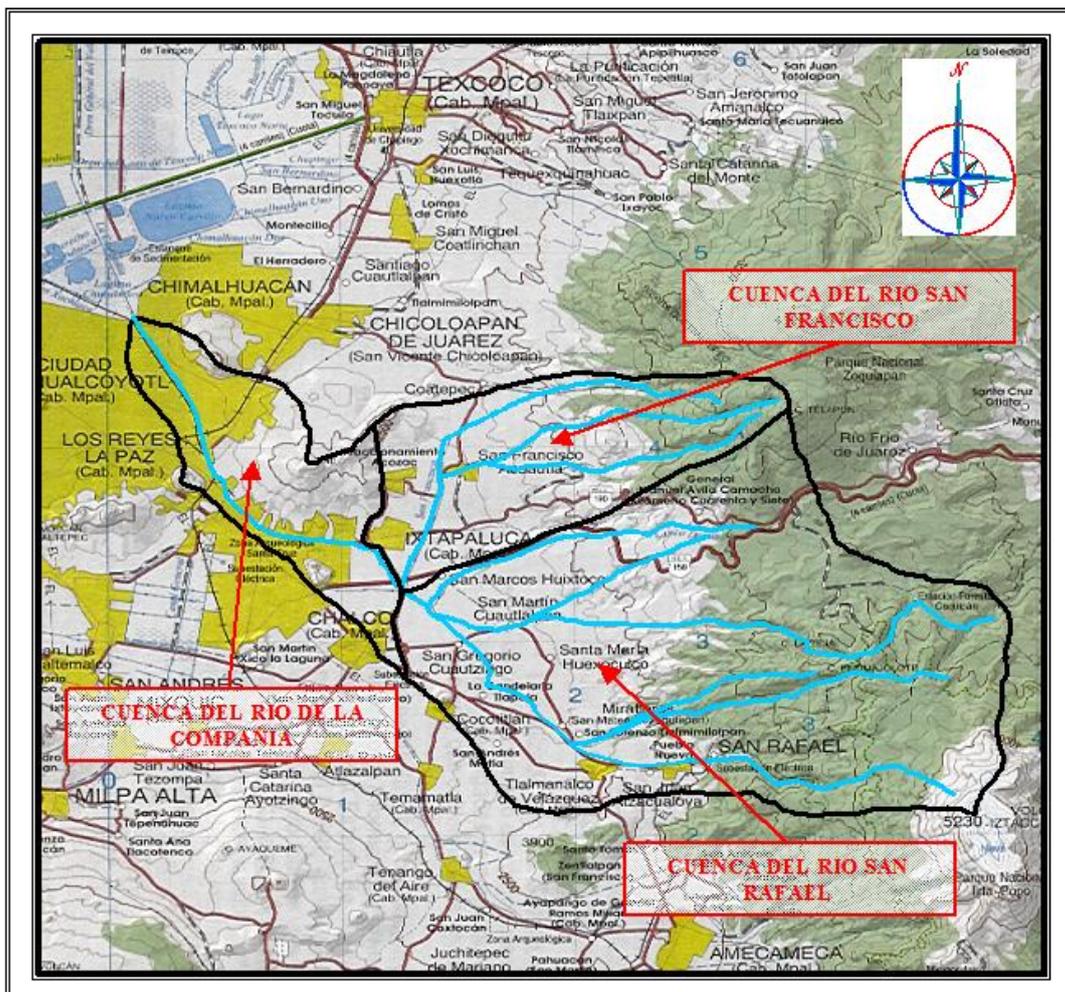


Ilustración 10: Ubicación de la cuenca del río de la Compañía

Sin embargo más allá de su área de influencia es importante analizar su entorno transaccional ya que como se ha mencionado las infraestructuras críticas son una red de procesos distribuidos que trabajan en colaboración y sinergia para producir un servicio esencial. En el caso de los sistemas de agua

hablamos de un servicio vital para cualquier actividad, de producción, de servicios, de actividad humana, de recreación, domésticos, industriales etc.

Si vamos atrás en este complejo intercambio de procesos se observa que la transformación y afectación comienza desde que se tiene en su estado natural en forma de ríos, lagos, lagunas etc. En este punto se dan relaciones de contaminación a los cuerpos de agua, sobreexplotación, invasión de zonas de recarga natural y todas sus implicaciones. Ahora, si se piensa en modificar el entorno y hacer uso de estos cuerpos de agua se encuentran otras formas de relaciones desde lo social hasta lo ambiental y una vez que se hubieran llegado a acuerdos de aprovechamiento se inician redes de procesos en los que interviene la planeación de obras, el desarrollo de proyectos, la construcción de infraestructura y la puesta en marcha de nuevos sistemas que además del beneficio social que se espera trae consigo la generación de empleos y la detonación del desarrollo urbano en la región con los impactos que esta genere.

En la propuesta que se presenta se pretende que el rediseño permita disminuir la cantidad de situaciones críticas que se dan en un sistema donde lejos de tratar de aprovechar sus aguas se intenta expulsarlas de la zona de formas diversas.

Las situaciones críticas que se tienen en este momento por el manejo actual son las señaladas en la problemática; las que pudieran surgir por la implantación de las propuestas de cambio en el sistema de manejo de aguas serán analizadas por medio de su factibilidad y viabilidad en un ejercicio de evaluación. Generalmente un LCCI es capaz de soportar los impactos económicos que se presenten, pero ante un impacto social las consecuencias son menos fáciles de sortear, es por ello que se buscará satisfacer en un buen grado a los diferentes involucrados en los procesos de transformación.

Se puede observar que las relaciones entre los componentes del sistema de manejo actual se encuentra estrechamente vinculadas y que un fallo en cualquiera de ellas puede desembocar en daños a la infraestructura y a la seguridad social, y que si bien con la construcción de obras de gran magnitud como lo es el túnel se han obtenido resultados favorables para evitar emergencias aún persisten las condiciones de la problemática; es decir, se tiene una excesiva extracción del acuífero provocando hundimientos, persiste el problema de insalubridad en las aguas que fluyen por el canal, cada vez se requieren mayores esfuerzos para desalojar las aguas negras de la zona en que son utilizadas y en contraparte el desabasto a la población de agua para consumo es más evidente convirtiéndose en un problema de desarrollo social y de conflicto para las autoridades.

3.2.- OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE MANEJO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DE SUS PROYECTOS RELEVANTES

Con la finalidad de crear un rediseño del manejo de aguas superficiales se plantean los objetivos principales para cada etapa de funcionamiento con base al objetivo general que se cita a continuación:

“Diseño de un programa de aprovechamiento de aguas superficiales en el municipio de Chalco concibiendo al sistema hidráulico como un LCCI que puede ser planeado para reconfigurar esquemas de abastos y explotación y mitigar inundaciones y hundimientos.”

El programa está integrado por propuestas que tienen como finalidad el planteamiento de las condiciones necesarias para ser factibles y viables en cada ámbito a considerar así como las características y requerimientos principales de diseño de los sistemas que se requieran para su funcionamiento.

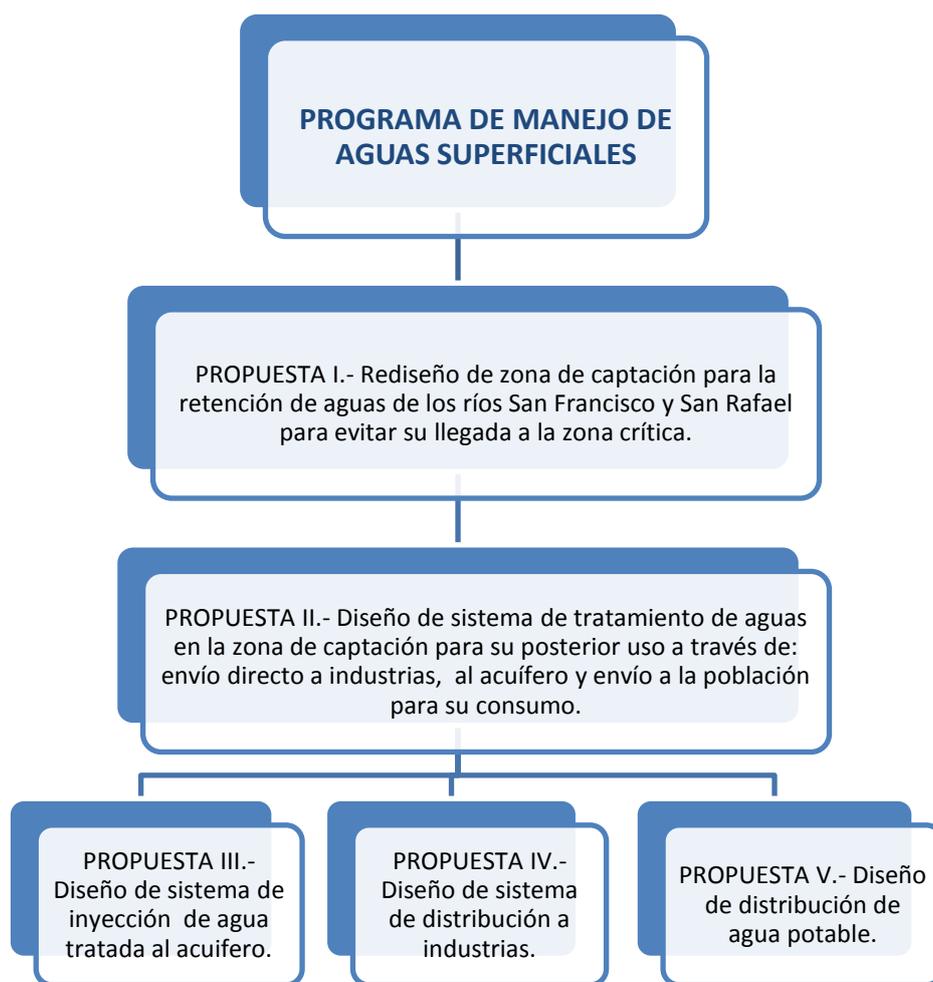


Ilustración 11: Diagrama de objetivos

3.3.- PROPUESTAS PARA EL PROGRAMA

Antes de iniciar con la propuesta de rediseño de manejo de aguas es conveniente mostrar de forma gráfica la forma en la que actualmente opera; en la siguiente imagen se observan los elementos principales que conforman el sistema actual de manejo:



Ilustración 12: Sistema actual de manejo de aguas residuales

La primera etapa da respuesta al primer objetivo particular, se trata de una zona de captación ubicada en la confluencia de los San Rafael y San Francisco, en el sitio denominado la Gasera. Actualmente se retiene agua en esta represa sin embargo se tendrán de adecuar las condiciones para convertirla en un lugar apto para almacenar aguas que posteriormente serán tratadas para servir a la comunidad.

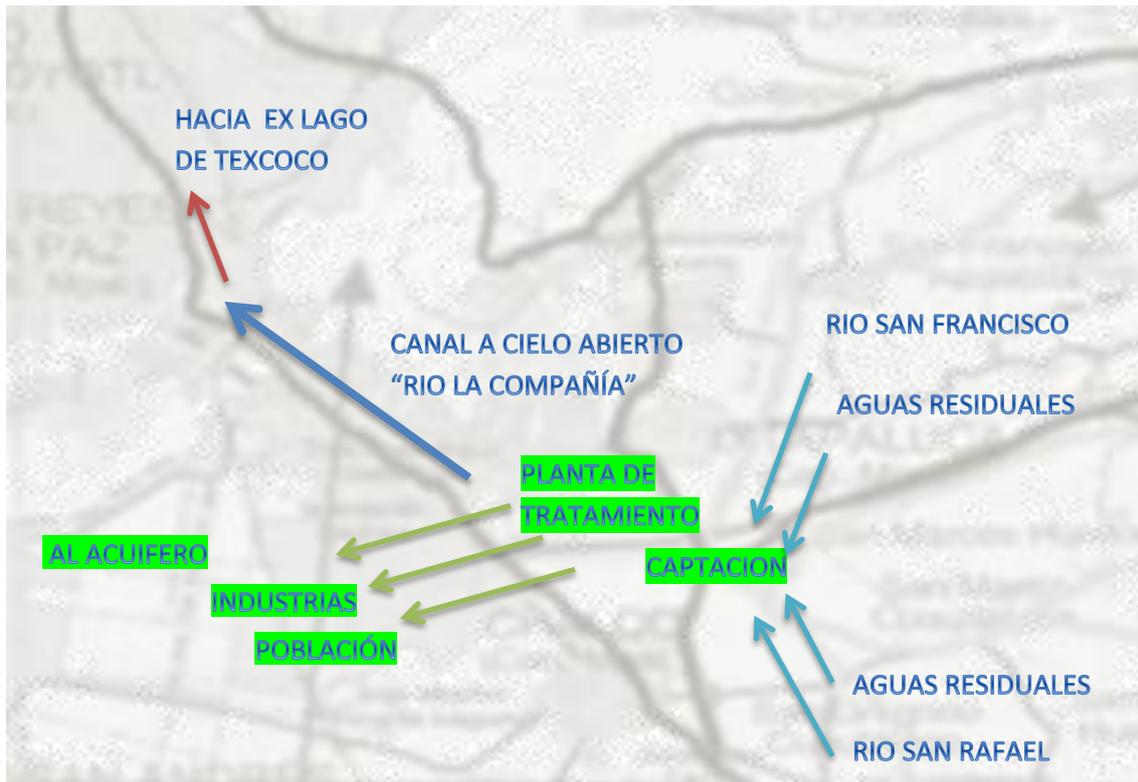


Ilustración 13: Sistema propuesto para manejo de aguas residuales

En la ilustración 13 se muestra en forma general el esquema de manejo que se propone, las aguas que conducen los ríos San Rafael y San Francisco son retenidas en la nueva captación, posteriormente se conducen a la planta de tratamiento y a partir de este punto se destinan a las tres propuestas de uso, la primera hacia el acuífero por medio de inyección, la segunda hacia las industrias y la última hacia la población; finalmente si se tiene agua en excedente, esta puede ser conducida por el actual cauce a cielo abierto.

Se observa que el manejo actual sufre una transformación en la propuesta que pretende beneficiar al ambiente y a la población y que posteriormente continúa su cauce actual por el canal a cielo abierto hacia el lago de Texcoco. Con ello se busca evitar situaciones críticas en caso de contar con un caudal elevado en época de lluvias o con alguna avenida extraordinaria.

PROPUESTA DE CAPTACIÓN

De acuerdo a los datos obtenidos por el programa de monitoreo “El Molino” que se llevó a cabo a partir de Junio del 2010; se registró un gasto mínimo de 0.262 m³/s, presentado el 13 de junio y el máximo registrado se observó en la avenida del 17 de junio siendo este de 25.652 m³/s. De acuerdo a la frecuencia de los gastos aforados se puede observar que el 48% de los datos cae en un rango de 1.5 m³/seg y 2.5 m³/s por lo que se estima que el Río de la Compañía conduce un gasto promedio de 1.988 m³/s. Sin embargo se propone un sitio de captación atendiendo al gasto base del río que es de **0.348 m³/s**; éste está integrado por el gasto medio anual de los ríos San Francisco (0.034 m³/s) y San Rafael (0.314 m³/s), y será el gasto empleado ya que la captación se propone en la confluencia de ambos.

El tipo de obra civil que deba ejecutarse para el almacenamiento de agua se deberá estudiar de acuerdo a estudios previos entre los que destacan mecánica de suelos y topografía de la zona, así como estudios financieros que se presenten para su aprobación por el organismo correspondiente.

PROPUESTA I

Diseño de zona de captación para la retención de aguas de los ríos San Francisco y San Rafael para evitar su llegada a la zona crítica.

ESTRATEGIA 1: Modernizar la infraestructura de retención de aguas residuales del Canal Río de la Compañía.

ESTRATEGIA 2: Ubicar la nueva captación en la confluencia de los ríos San Rafael y San Francisco. Se propone el uso del sitio denominado “La Gasera”

ESTRATEGIA 3: Creación de organismo encargado de la supervisión de manejo de aguas a partir de captación y hasta su recuperación. Se sugiere el reporte mensual de actividades.

Cuadro 1: Propuesta 1

La propuesta está integrada por estrategias siguiendo el formato que se maneja en el Plan Nacional Hídrico; cada estrategia atiende algún aspecto relevante en la puesta en marcha del proyecto.

La estrategia número 1 responde a la necesidad de diseñar una infraestructura de captación para el caudal que se recibe regularmente, pero además para un

almacenamiento emergente que permita aprovechar el agua en la época de estiaje.

La estrategia 2 pretende que se aproveche el sitio de confluencia de los ríos San Rafael y San Francisco para el ahorro de recursos, además, ya que se trata de un sitio previamente expropiado para uso hídrico, se evitarían conflictos sociales por el uso de suelo.

Con el sitio y la infraestructura definidos se pretende que la estrategia 3 sirva de guía en el manejo del recurso hídrico y económico dando las pautas administrativas, de gestión y control que se requieran para su funcionamiento y que generen reportes que permitan al órgano responsable conocer el estado del sistema en todo momento.

PROPUESTA DE TRATAMIENTO

Se propone una planta de tratamiento de características similares a la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella” ubicada en San Juan Xalpa, Iztapalapa. Esta planta comenzó su operación en 1971, produciendo inicialmente un caudal a nivel secundario de 2 mil litros por segundo (l/s). Desde 1994, su capacidad ha aumentado hasta 4 mil l/s de agua a nivel terciario. En este caso se tendrán que hacer los estudios y diseños pertinentes para un caudal de 348 l/s que es el que aporta el Canal Río de la Compañía. A continuación se describen las características principales del sistema propuesto.

La planta potabilizadora de agua residual integra en sus unidades de proceso un sistema innovador de ósmosis inversa, que por su tecnología elimina del agua compuestos como amonio, fierro, manganeso y sodio, compuestos orgánicos y organismos patógenos. La calidad es monitoreada a través de rigurosos análisis de laboratorio y pruebas toxicológicas, que garantizan la potabilidad del caudal.

La tecnología de punta utilizada en el proceso de potabilización, como los sistemas de ozonación, ósmosis inversa y luz ultravioleta, convierten a esta planta en una de las más innovadoras en el ámbito internacional.

De acuerdo a los estudios de factibilidad que se llevaron a cabo en el diseño del sistema se eligió el tren de proceso que brindaba la mejor alternativa técnica y económica; a continuación se muestra el esquema de funcionamiento:

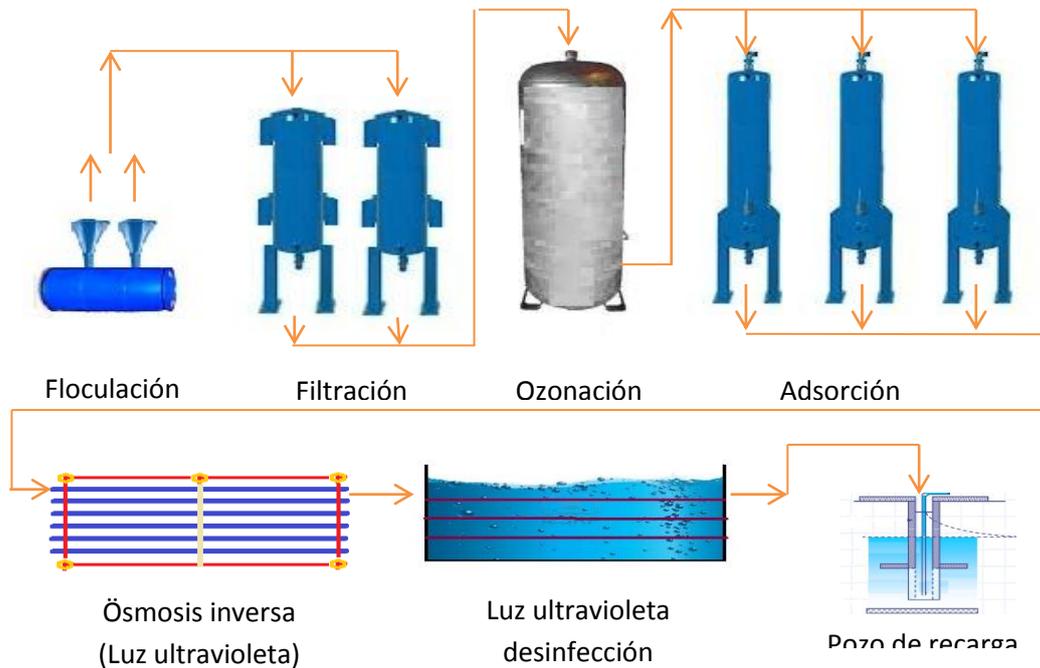


Ilustración 14: Perfil hidráulico

Con este proceso se llevan a cabo redundancias en las operaciones unitarias que garantizan al 100% la calidad del agua para recarga.

PROPUESTA II

Diseño de sistema de tratamiento de aguas en la zona de captación para su posterior uso a través de: envío directo a industrias, al acuífero y envío a la población para su consumo.

ESTRATEGIA 1: Tratar el 100% de aguas residuales captadas.

ESTRATEGIA 2: Utilizar métodos de tratamiento probados con proyectos previos

ESTRATEGIA 3: Obtener agua con altos estándares de calidad

ESTRATEGIA 4: Disminuir el uso de agua potable por extracción

Cuadro 2: Propuesta 2

La situación ideal implica el tratamiento y uso del 100% de las aguas captadas, para lograr un uso sustentable de los recursos, el diseño estará

basado en esta meta.

Para el tratamiento se propone un sistema que tenga respaldo de efectividad y eficiencia, el uso de un sistema previamente empleado y con resultados cuantificables con similitud de circunstancias genera la confianza para una nueva inversión, la estrategia 2 busca llegar a esto con el uso del sistema empleado en la PTAR “Cerro de la Estrella”.

La estrategia 3 por su parte busca garantizar el uso de las aguas residuales tratadas; los estándares de calidad que se obtengan serán recompensados con la aceptación del uso de agua en diversas actividades.

La estrategia número 4 implica una organización estrecha de los organismos correspondientes al lograr una relación inversa entre el aprovechamiento de las nuevas fuentes y la extracción de agua por medio de pozos. La paulatina disminución de la extracción será consecuencia de esta relación.

PROPUESTA DE INYECCIÓN

Sin duda alguna la recarga artificial del acuífero ofrece una herramienta que permite el uso sustentable del agua en la ciudad de México; en esta propuesta se analiza utilizar el agua de la planta de tratamiento de la propuesta II (véase diagrama de objetivos) que cumpla con las características físico-químico-biológicas que se requieren según la NOM-014-CONAGUA-2003, “Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua tratada”.

Los requisitos para la recarga artificial (RA) se enuncian a continuación:

- Información y estudios básicos: Localización, fuente de agua de recarga e hidrogeología de la zona de recarga.
- No se permite la construcción en suelos contaminados.
- Ni en sitios con predominancia en el subsuelo de rocas cársticas, fracturadas, fisuradas o clásticas de grano grueso, sin capacidad de eliminación o atenuación de contaminantes del agua de recarga.

La calidad que el agua tratada requiere para ser inyectada es de suma importancia ya que de no ser lo suficientemente pura contaminaría el subsuelo, por ello se detallan las concentraciones de las sustancias que se deben medir en la calidad final del agua tratada.

Tipo de contaminante	Método de Recarga Superficial / Subsuperficial	Directo
Microorganismos patógenos	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus	Remoción o inactivación total de microorganismos patógenos y enterovirus
Contaminantes regulados por Norma	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994	Limites permisibles NOM-127-SSA-1994
Contaminantes no regulados por Norma	DBO < 30 mg/L COT < 16 mg/L	COT < 1 mg/L

Tabla 3.- Calidad del agua residual para recarga

Además de lo indicado en la tabla se debe seguir el siguiente esquema de trabajo para verificar que las características del agua a inyectar son las idóneas y que se hará en los sitios más adecuados para su posterior recuperación.

Con aprovechamientos de uso público-urbano a < 1 km del límite exterior de la RA:

- Proyecto piloto de recarga in situ
- Análisis hidrogeoquímico
- Modelo numérico de flujo y transporte
- Cumplir los límites máximos permisibles en el agua de recarga que determine la CNA, en parámetros no regulados por la NOM-127, cuya presencia se suponga atendiendo al origen del agua residual
- Estudios toxicológicos o epidemiológicos que determine la CNA
- Respetar las distancias mínimas y el tiempo de residencia:

Variable	Superficial /Subsuperficial	Directo
Distancia horizontal mínima entre el SRA y las captaciones público-urbano o doméstico	150 m	600 m
Tiempo de residencia del agua de recarga antes de su extracción	6 meses	12 meses

Tabla 4.- Distancias mínimas y tiempo de residencia

Los niveles máximos permisibles de contaminantes no regulados por norma, en aguas residuales destinadas a la recarga artificial de acuíferos son:

Característica	Máximo nivel (mg/l)	Contaminante	Máximo nivel (mg/l)
Microbiológicos		Químicos inorgánicos	
Cryptosporidium	Ausencia o no detectable	Antimonio	0.006
Vibrio cholerae	Ausencia o no detectable	Asbesto (fibra >10 µm)	7 millones de fibras por litro
Giardia lamblia	Ausencia o no detectable	Berilio	0.004
Conteo de Bacterias Heterotróficas (HPC)	Ausencia o no detectable	Boro	0.3
Legionella	Ausencia o no detectable	Hierro	0.3
Enterovirus	Ausencia o no detectable	Plata	0.1
Productos de desinfección		Selenio	0.05
Bromatos	0.010	Químicos orgánicos	
Cloritos	1.0	Acrilamida	0.0005
Ácidos haloacéticos (HAA5)	0.060	Alacloro	0.02
Desinfectantes		Aldicarb	0.01
Cloraminas (como Cl ₂)	Ausencia o no detectable	Atrazina	0.002
Bióxido de cloro (como ClO ₂)	Ausencia o no detectable	Benzo(a)pireno (PAHs)	0.0002
		Bifenilos policlorados (PCBs)	0.0005
		Carbofurano	0.005
		Clorobenceno	0.1
		Cloruro de vinil	0.002
		Dalapon	0.2
		Dibromoetileno	0.00005
		1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	0.001

Tabla 5.- Distancias mínimas y tiempo de residencia

Los requisitos que se han mencionado hacen referencia a la NOM-014-CONAGUA-2003 y se deben cumplir para la recarga del acuífero, los resultados que se tengan de ellos dependerán del tipo de suelo y de las condiciones de operación de los pozos de inyección.

PROPUESTA III

Diseño de sistema de inyección de agua tratada al acuífero.

ESTRATEGIA 1: Análisis de las características y requerimientos necesarios para la inyección

ESTRATEGIA 2: Ubicación de sitios propicios para la inyección

ESTRATEGIA 3: Vigilancia de calidad del agua para recarga de acuerdo a normatividad

ESTRATEGIA 4: Recarga constante de agua tratada con las características necesarias

Cuadro 3: Propuesta 3

La puesta en marcha del proyecto necesario para la propuesta número 3 requiere indispensablemente de la primer estrategia, el análisis de las características y requerimientos es parte obligada de los estudios previamente nombrados y el cumplimiento de la normatividad de forma metódica.

Por su parte la estrategia número 2 busca la ubicación idónea de acuerdo a las condiciones del suelo que permita el más eficiente aprovechamiento del proceso de inyección con el mínimo de complicaciones de construcción.

Uno de los aspectos que se vigila con mayor énfasis es la calidad del agua destinada a la inyección, la tercer estrategia controlara el monitoreo de las características de calidad para que se cumplan con estricto apego a la normatividad vigente. Con el cumplimiento de la tercer estrategia se puede dar seguimiento al proceso principal, la inyección se propone constante de forma que se maxifique el beneficio y se logre la disminución de los asentamientos en la zona.

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN A INDUSTRIAS

Uno de los usos del agua que se generan de forma constante en las ciudades es el consumo de las industrias, es por ello que la propuesta IV se ha enfocado a cubrir parte de esta demanda por medio de aguas tratadas. En la actualidad se utiliza agua potable, de primera extracción, para cubrir necesidades que no son prioritarias.

El uso de agua en una industria en general se emplea en red sanitaria, como disolvente en diferentes procesos productivos, labores de limpieza de instalaciones, maquinarias y equipo; para calentar y enfriar, para producir vapor de agua etc.

La propuesta consiste en crear una red de distribución independiente que permita a las industrias el uso de agua residual tratada para estas actividades ahorrando así el caudal que comúnmente se emplearía del agua de consumo general que es extraída de pozos.

La creación de esta nueva red de distribución abre una puerta a la negociación por medio de inversión privada en infraestructura hidráulica que permita un ahorro a la entidad y que a la vez genere un ahorro a las industrias en el costo de la misma. La forma de inversión deberá ser evaluada por los organismos correspondientes sin perder de vista que el objetivo final es el consumo sustentable.

PROPUESTA IV

Diseño de sistema de distribución a industrias.

ESTRATEGIA 1: Incorporación de industrias al nuevo uso de aguas

ESTRATEGIA 2: Diseño y construcción de red de abastecimiento a industrias

ESTRATEGIA 3: Creación de organismo encargado de la nueva red y su operación. Planeación de actividades por sector de funcionamiento.

ESTRATEGIA 4: Implantación de medidores para sistema de cobro independiente. Se recomienda reportar mensualmente.

Cuadro 4: Propuesta 4

Como primer punto estratégico en esta propuesta surge la necesidad de crear el interés de las industrias en el uso de aguas tratadas, la puerta a este interés serán los incentivos económicos con los que puedan verse beneficiados, el costo del consumo de agua tratada contra el costo por uso de agua potable puede favorecer a este fin. Mientras más empresas se incorporen a la estrategia, mayor será el beneficio social, económico y ambiental.

La estrategia número 2 va encaminada a la creación de la infraestructura necesaria para conducir el agua desde el tratamiento y hasta cada industria o centro incorporado.

Esta nueva red requerirá de un manejo conjunto pero a la vez independiente que refleje los resultados y beneficios obtenidos donde sea posible planear el uso y manejo de la nueva red. La tercer estrategia esta dirigida a este aspecto de control.

Finalmente se plantea una cuarta estrategia que tenga un monitoreo efectivo y constante para la medición del uso de agua por industria, la existencia de la red independiente según la segunda estrategia permitirá tener este control.

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Con una revisión de las características que se obtienen del agua tratada por medio del sistema propuesto se puede observar que la calidad permitiría su uso para consumo humano, por encima de los parámetros que se establecen en la norma, ya que se solicitan especificaciones de calidad adicionales a los establecidos.

Se propone la conexión de la salida de agua tratada con la red de distribución actual que permita abastecer a la población con el agua recuperada para el uso doméstico, que podría incluir el consumo humano. De esta forma se consideran grandes ahorros en la cantidad de agua que se extrae del subsuelo, ya que la mancha urbana y su crecimiento constante y exponencial son en gran medida el factor crítico de extracción que conlleva el hundimiento y la cadena de sucesos perjudiciales a la misma población, la infraestructura, el ambiente etc.

Los sitios de almacenamiento a los que ha de ser dirigido el nuevo caudal dependerán de la disponibilidad de ellos, las características de los depósitos, y los estudios que muestren las variaciones en los niveles de distribución una vez que se ponga en marcha la propuesta.

PROPUESTA V

Diseño de distribución de agua potable.

ESTRATEGIA 1: Diseño y construcción de red de conducción a almacenamientos existentes

ESTRATEGIA 2: Construcción de nuevos depósitos en sitios con déficit de abastecimiento

ESTRATEGIA 3: Monitoreo de calidad de agua a su llegada al depósito para cumplimiento de normatividad.

ESTRATEGIA 4: Monitoreo de disminución del caudal extraído para llenar los depósitos

Cuadro 5: Propuesta 5

La última propuesta pretende enviar agua a la población en general por medio de la red existente de distribución, sin embargo, como lo sugiere la estrategia 1, es necesario construir una red de conducción que lleve el agua hasta los tanques existentes. El uso de la red de distribución existente implica un ahorro importante en la construcción de la infraestructura.

Por su parte la estrategia 2 sugiere la construcción de almacenamiento, esto con la finalidad de cubrir el déficit de agua en zonas con mayor desabasto y que no cuenten con la infraestructura necesaria. El objetivo es llegar a la mayor cantidad de personas beneficiadas.

Aunque el agua que salga de la PTAR cumpla con las condiciones de calidad requeridas, se pretende que la tercer estrategia de seguridad y garantice que el agua que será suministrada a la población sea potable.

La estrategia final permite medir y comparar la cantidad de agua que se extrae antes y después de la implantación de la propuesta, con la finalidad de verificar que los resultados sean los esperados.

3.4.-ORGANIZACIONES RELEVANTES EN LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA

La puesta en marcha de cualquier proyecto requiere la intervención de organismos clave en la planeación y desarrollo del mismo; es de gran importancia reconocer a las organizaciones e instituciones que contribuirán al cumplimiento de los objetivos y estrategias de la propuesta para superar los retos que se presenten durante el proceso. A continuación se menciona de forma breve la función más relevante que tendrán los principales organismos involucrados en la propuesta de manejo de aguas.

Comisión Nacional del Agua.- encargada de gestionar y organizar el manejo del agua de forma que se obtengan los beneficios esperados en conformidad a lo establecido por la ley. Priorizando el bienestar social y la sustentabilidad de la cuenca y su medio ambiente. La Comisión Nacional del Agua es el primer órgano que debe discutir y analizar la conveniencia de la puesta en marcha de un proyecto hídrico, para este trabajo en particular, se deberá considerar en primera instancia el análisis de factibilidad y viabilidad realizado y ahondar en los elementos que de acuerdo a su experiencia se consideren primordiales.

Gobiernos municipales, estatales y federal: Apoyar la construcción, implementación y desarrollo de los planes que se generen de la propuesta para el beneficio de sus gobernados de forma que la sociedad lleve a cabo sus actividades diarias y de producción con la facilidad de uso de agua suficiente y de calidad. Propiciando así el bienestar social y económico. El gobierno federal, estatal y municipal impulsa de forma importante el proyecto por medio de la aportación económica, pero a la vez es indispensable contar con su aprobación y apoyo para el trámite de permisos y/o donaciones de predios requeridos para el desarrollo del proyecto.

Sector industrial: Incorporarse al nuevo esquema de manejo de aguas con el beneficio otorgado por los incentivos establecidos y con el compromiso de lograr el manejo sustentable de los recursos hídricos de la cuenca. Aunado al compromiso del uso eficiente de los recursos brindados por el sistema de aguas. La propuesta número 4 depende en gran medida de la colaboración que

se tenga de las industrias y la aceptación del uso de aguas residuales en sus procesos. Así como en el manejo del recurso y la aportación oportuna de los recursos de recuperación.

Universidades y centros de educación: Brindar apoyo a las actividades a desarrollar por medio de capacitación en la medida de sus posibilidades, de forma que se aproveche al máximo el beneficio obtenido del tratamiento de aguas y reincorporación al uso común.

3.5.-EVALUACIÓN DE LAS PROPUESTAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Cada propuesta presentada en el punto anterior está basada en el diseño idealizado de Acoff, ahora surge la necesidad de evaluarlas en función de su factibilidad técnica y su viabilidad operativa, considerando que los alcances del presente se limitan a la propuesta y que muchos de los elementos decisivos tendrán que ver con los estudios que se hagan para su valoración.

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE CAPTACIÓN	• Tecnología existente	<input checked="" type="checkbox"/>	• Inexistencia de conflictos sociales	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Financiamiento	<input checked="" type="checkbox"/>		• Normatividad
	• Recursos humanos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	• Disponibilidad de uso de suelo	<input checked="" type="checkbox"/>		
	• Calidad del agua	<input checked="" type="checkbox"/>		
	• Infraestructura existente	<input checked="" type="checkbox"/>		

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE TRATAMIENTO	• Tecnología existente	<input checked="" type="checkbox"/>	• Normatividad	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Financiamiento	<input checked="" type="checkbox"/>	• Interés en el proyecto	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Recursos humanos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>	• Beneficio social	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Experiencia en manejo del sistema de tratamiento	<input checked="" type="checkbox"/>		
	• Personal con experiencia	<input checked="" type="checkbox"/>		
	• Costo	<input checked="" type="checkbox"/>		

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE INYECCIÓN	• Tecnología existente	<input type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez en los resultados • Normatividad • Beneficio hidráulico esperado 	<input type="checkbox"/>
	• Financiamiento	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Recursos humanos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Calidad de agua	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Tipo de suelo	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Diseño de acuerdo a infraestructura existente	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Estudios previos satisfactorios	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Permeabilidad requerida	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE USO EN INDUSTRIAS	• Tecnología existente	<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Control de sistema • Creación de organismos • Beneficio social • Normatividad • Beneficio económico 	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Financiamiento	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	• Recursos humanos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	• Calidad requerida	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	• Infraestructura necesaria realizable con materiales de la región y de construcción simple	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
	• Recursos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	• Tecnología existente	<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> • Beneficio social • Normatividad • Aceptación social 	<input checked="" type="checkbox"/>
	• Financiamiento	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Recursos humanos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Infraestructura necesaria	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Recursos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	• Calidad del agua	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

CAPTACIÓN

La primer propuesta es la captación, en resumen se propone en el sitio denominada “La Gasera” y será el filtro inicial para la planta de tratamiento ubicada a su costado.

La factibilidad técnica y viabilidad operativa se evalúa como se menciona en el Capítulo II de acuerdo a disponibilidad, calidad de agua, infraestructura existente y conflictos por el uso de agua.

La disponibilidad es aceptable en términos de la cantidad de agua que será almacenada y dispuesta para su tratamiento; en cuanto a la infraestructura existente es importante recordar que se cuenta con un sitio de almacenamiento denominado “La Gasera”, este mismo sitio podría ser utilizado para el nuevo almacenamiento de forma que no se requieran nuevos tramites y/o permisos y se pueda evitar el conflicto social por el uso de suelo.

En cuanto a la calidad del agua es necesario hacer los estudios correspondientes para determinar qué tipo de contaminantes existen y la concentración de estos; esta etapa es indispensable en cualquier proyecto que pretenda reutilizar aguas residuales y de los resultados obtenidos dependerá el diseño de la planta de tratamiento. Es de suma importancia evitar las variaciones de la calidad que se puedan presentar en los diferentes momentos de toma de muestras, estas pueden ser ocasionadas por 1) protocolos inadecuados en la colecta de la muestra, 2) errores en las determinaciones analíticas, 3) problemas de contaminación de la muestra, o una combinación de éstas.

En conclusión se considera aceptable en términos de factibilidad técnica y viabilidad operativa.

Principales retos a superar asociados al objetivo

- Tener un diseño de la infraestructura de almacenamiento para el aprovechamiento óptimo del área de suelo destinada a este fin.
- Lograr la coordinación de los organismos participantes para el desarrollo del proyecto.
- Promover la participación económica de los gobiernos, municipales, estatales y federales para la construcción de los proyectos.
- Priorizar la eficiente operación y mantenimiento de las instalaciones para el nuevo manejo.

TRATAMIENTO

En la propuesta II el diseño está basado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que actualmente se encuentra en uso en la delegación Iztapalapa, es entonces conveniente utilizar la información que esta arroja para la valoración de los resultados que se pueden esperar de la nueva planta propuesta en el sitio de estudio.

Actualmente el 56 por ciento de caudal tratado en la PTAR Cerro de la Estrella se emplea en el llenado de canales y lagos recreativos, y el riego agrícola de la zona chinampera de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco, un 25 por ciento para la recarga del acuífero; 8 por ciento en el riego de áreas verdes y otro 8 por ciento en el sector industrial, el restante 3 por ciento se emplea en el sector comercial, en el lavado de trenes del STC-Metro y autos.

Con estas cifras es ahora prudente analizar si el costo de 15 millones de pesos por la planta se compensa y no sólo en el sentido económico, sino más bien en el ambiental con una visión de sustentabilidad de cuenca.

Por los beneficios que implica en cualquier perspectiva de análisis y los resultados con la PTAR Cerro de la Estrella; se considera que la planta de tratamiento propuesta es técnicamente factible y operativamente viable.

Principales retos a superar asociados al objetivo

- Lograr que el tratamiento de aguas residuales sean prioridad para los gobiernos.
- Garantizar el continuo funcionamiento de la planta de tratamiento para obtener resultados satisfactorios.
- Lograr que los organismos a cargo utilicen de forma eficiente la infraestructura que dispongan.
- Garantizar que se cumpla la normatividad para el tratamiento de aguas residuales.
- Contar con un sistema de mantenimiento constante y preventivo.

INYECCIÓN

Si las características de tratamiento se cumplen de acuerdo a lo establecido en la propuesta de tratamiento de aguas residuales, se puede considerar que la inyección es técnicamente factible en este sentido. Sin embargo el punto crítico de esta propuesta se encuentra en la ejecución y el aprovechamiento real que se tiene de la inyección en el acuífero.

Se tienen pocos estudios de la cantidad de agua que se puede recuperar una vez que se ha hecho la inyección, la investigación en el desarrollo del presente trabajo revela que hasta el momento no se tienen datos precisos que muestren una recuperación que valga la inversión por inyección.

Algunas de las razones por las que no se ha dado luz verde a estos proyectos es que el suelo arcilloso de la ciudad crea un efecto de permeabilidad que dificulta la óptima absorción. Además en opinión de algunos involucrados en los estudios el tiempo que tarda en llegar hasta el acuífero es demasiado y no representa un efecto benéfico.

En conclusión se considera que la inyección no es operativamente viable.

Sin embargo queda claro que aún no se puede dar esta conclusión de forma tajante, que los estudios realizados no son suficientes y que cada sitio puede revelar resultados diferentes. Se sugiere analizar los efectos de la recarga artificial en las arcillas y observar si esta disminuye los hundimientos del suelo a mediano o largo plazo.

Principales retos a superar asociados al objetivo

- Cumplimiento de la normatividad en los aspectos que intervienen para la inyección.
- Coordinación de intereses económicos y sociales de los entes involucrados para llegar al objetivo.
- Interés de inversión para proyectos con poca o nula investigación y experimentación.
- Ubicación de sitios propicios para la inyección y adquisición de los mismos.
- Implementar un sistema de medición y monitoreo en los pozos de inyección.

DISTRIBUCIÓN A INDUSTRIAS

Como en las propuestas anteriores la calidad del agua que se obtiene con la planta de tratamiento deberá ser apta para su uso en actividades del sector industrial, el uso de estas no sólo crea beneficios de corto plazo sino que la disminución en la extracción del subsuelo para actividades comunes y de gran magnitud espera la consecuente disminución de los hundimientos que aquejan la zona de estudio. La construcción de una nueva red de distribución requerida de inversión que puede ser compensada por los beneficios sociales que esta propuesta conlleva. Las formas de inversión son las que determinarán el grado

de factibilidad técnica de la propuesta V. Es importante mencionar que la cantidad de agua que se aproveche dependerá de la dimensión que la red de distribución tenga y del caudal que se destine a este fin.

La viabilidad operativa está en función directa de los organismos que se encarguen de la regulación y control de la misma y que manejen de forma adecuada los recursos que les sean asignados. La creación de un organismo que se responsabilice de su funcionamiento servirá de soporte para un óptimo funcionamiento.

Por sus características generales y la consideración del costo-beneficio que se implica con la ejecución de la propuesta, se considera factible y viable en los términos técnicos y operativos respectivamente.

Principales retos a superar asociados al objetivo

- Determinación de incentivos que propicien la aceptación de las industrias al nuevo esquema de manejo de aguas.
- Consolidación de un sistema de manejo eficaz y eficiente.
- Monitoreo de beneficios obtenidos.
- Control de permisos y usos del agua tratada y su constante medición y cobro.
- Creación de un marco legal-normativo para el aprovechamiento de aguas tratadas.

DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Aunque se ha mencionado redundantemente que las características del agua que se producirá en la planta propuesta II la hacen apta para el consumo humano muy por arriba de los estándares solicitados y que el impacto que se generaría por el uso doméstico del agua tratada sería de gran magnitud, no se puede considerar como una opción técnicamente factible ya que la NOM-014-CONAGUA-2003 no permite el consumo humano de aguas residuales tratadas, actualmente sólo Namibia utiliza agua residual potabilizada para consumo humano de forma directa, en México se requiere que se infiltre para que pase por un proceso natural de depuración.

Es prudente considerar que tan racional es esta limitante si se han hecho pocos trabajos de re-inyección, quizá valga la pena revisar la normatividad y pensar en su modificación para el beneficio de la población, de la economía y del ecosistema.

En conclusión la propuesta VI de distribución de agua potable no se acepta por incumplimiento a la normatividad vigente.

Revisando el diagrama de objetivos planteado al inicio del ejercicio de diseño idealizado, se puede observar que no fue posible aceptar todas las propuestas por falta de consistencia en sus características de factibilidad técnica y/o viabilidad operativa.

Principales retos a superar asociados al objetivo

- Garantizar que la calidad del agua sea apta para el consumo humano.
- Aceptación de la población para el uso doméstico de aguas tratadas.
- Crear organismos que garanticen el buen funcionamiento de la infraestructura hidráulica.
- Fortalecimiento del concepto del agua como un recurso vital que debe ser cuidado, reutilizado y aprovechado para el beneficio de la sociedad y la sustentabilidad de la cuenca.

Finalmente la evaluación de las propuestas quede resumida de la siguiente manera:

PROPUESTAS	CRITERIOS DE FACTIBILIDAD		CRITERIOS DE VIABILIDAD	
PROPUESTA DE CAPTACIÓN	TÉCNICAMENTE FACTIBLE	<input checked="" type="checkbox"/>	OPERATIVAMENTE VIABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
PROPUESTA DE TRATAMIENTO	TÉCNICAMENTE FACTIBLE	<input checked="" type="checkbox"/>	OPERATIVAMENTE VIABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
PROPUESTA DE INYECCIÓN	TÉCNICAMENTE NO ES FACTIBLE	<input checked="" type="checkbox"/>	OPERATIVAMENTE NO ES VIABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
PROPUESTA DE USO EN INDUSTRIAS	TÉCNICAMENTE FACTIBLE	<input checked="" type="checkbox"/>	OPERATIVAMENTE VIABLE	<input checked="" type="checkbox"/>
PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	TÉCNICAMENTE FACTIBLE	<input checked="" type="checkbox"/>	OPERATIVAMENTE NO ES VIABLE	<input checked="" type="checkbox"/>

3.6.- VALIDACIÓN DE EXPERTOS

Las propuestas realizadas y las estrategias consideradas para su desarrollo fueron evaluadas de acuerdo a las características que la investigación arroja como las más convenientes; sin embargo, ya que se trata de un nuevo esquema de manejo de aguas, y siendo este una infraestructura crítica, se considera importante tener la opinión de experto en el tema que puedan dar respaldo a la racionalidad de lo aquí propuesto.

La forma de dar validez a esta tesis fue por medio de consulta con expertos, es decir, gente que ha pasado gran parte de sus años laborales en la creación, desarrollo, implantación y/o manejo de diversos sistemas de agua; o bien gente que cuenta con estudios bastos en temas hidráulicos. La selección de los expertos fue basada principalmente en la experiencia y la disposición de colaboración. Se recabaron comentarios y experiencias de un grupo de tres ingenieros con las características antes mencionadas.

Su información curricular sirvió de referencia para verificar su expertis en el tema. Se concretó una cita en la que fueron presentadas las propuestas de forma verbal y con apoyo de presentación digital. De esta forma los expertos pudieron ubicar la zona de estudio y conocer de forma general pero significativa el contenido del trabajo desarrollado. Durante la presentación fueron contestadas las preguntas e inquietudes acerca de la metodología y las propuestas, así como de su evaluación. De acuerdo a una primera impresión, los ingenieros quedaron satisfechos con la información recibida.

Posteriormente se procedió a la recolección de comentarios y sugerencias hacia el trabajo y a la captura de las mismas.

La opinión general de los expertos manifiesta el acuerdo de que trabajos de este tipo son necesarios hoy en día para el manejo de aguas. Hablando de la problemática, mencionaron que un punto más es el hecho de que cada vez se conduce agua de lugares más lejanos y que ello implica un alto costo que además suele derivar en inconvenientes sociales.

La estrategia de trabajo fue vista de forma general como satisfactoria, mencionando que es importante pensar siempre en altos fines y después buscar la forma más eficaz para llegar a ellos, sin perder de vista lo que es o no factible.

El programa que incluye las cinco propuestas les parece completo e integral, pero sugieren ahondar más en las estrategias necesarias para llevarlas a cabo. Alguno de los expertos menciono que es indispensable tener un manejo de aguas eficiente para tener una mejor calidad de vida.

En cuanto a la captación y el tratamiento no hubo mayor discrepancia respecto a la evaluación, sólo reiteraron la necesidad de profundizar en el desarrollo, en los proyectos parciales correspondientes que tengan mayor alcance.

En cuanto a la inyección, todos los expertos coinciden en la falta de estudios a nivel nacional que investiguen al suelo y su respuesta a la inyección en diferentes condiciones (tipo de suelo, clima, métodos de inyección, 1profundidad, etc.) para poder efectuar propuestas de este tipo con los resultados más favorables. Sugieren estudios de mecánica de suelos, sondeos de acuíferos, desarrollo de tecnologías, y sobre todo apoyo a la investigación existente.

Respecto a la distribución a industrias, se manifiesta un total acuerdo en el uso de aguas tratadas ya que “muchas de las actividades, como lavado de camiones, etc, no requieren el uso de agua potable”. Sugieren el uso no sólo de tuberías de conducción, sino también de pipas que den abasto a pequeñas industrias o empresas.

Para la propuesta de distribución a la población se manifestaron dos en acuerdo y uno en desacuerdo; este último mencionaba que no hay elementos que n son normados y podrían “pasar” provocando daños a la salud de los que aún no somos conscientes. Los dos expertos que están a favor de la propuesta hicieron mención de que en otras partes del mundo ya se está implementando este sistema con buenos resultados. Haciendo hincapié en que el control y medidas de seguridad deben ser rigurosas en todo momento.

A continuación cito uno de los comentarios escritos que recibí de uno de los expertos:

El proyecto en cuestión es factible únicamente hay que determinar los diferentes estudios que intervendrán en él para poder desarrollar todo un planteamiento estratégico en materia de inyección o uso de agua tratada, teniendo en mente que para su aplicación hay que cambiar la mentalidad y ser creativos porque para que haya un cambio sustancial es necesario dar inicio a esta clase de trabajos de investigación. Esta es una alternativa real que puede ser aplicada en todo el Valle de México.

CAPITULO IV.-CONCLUSIONES

El agua es parte esencial para el funcionamiento y desarrollo de cualquier actividad en la sociedad, el uso cada vez mayor del recurso aunado a un inadecuado aprovechamiento ha vuelto la accesibilidad en algo cada vez más costoso y de mayores implicaciones sociales y ambientales. La situación en la zona del canal Río de la Compañía se ha vuelto aún más crítica ya que se aúna la problemática de las inundaciones debido al hundimiento del suelo por la sobreexplotación de acuífero; las consecuencias inmediatas son económicas, sociales, ambientales, de salud, e incluso políticas debido a la inconformidad de la población. Se ha buscado en múltiples ocasiones dar solución a la problemática, sin embargo, la visión parcial y temporal del problema da como resultado soluciones limitadas en su alcance y su efectividad.

Por lo anterior la formulación del objetivo implica una reformulación del manejo de aguas por medio de un programa de aprovechamiento de las aguas superficiales del canal Río de la Compañía. Este programa pretende dar respuesta a los trastornos que se generan con la sobre explotación del acuífero y los ocasionados por el actual manejo de aguas residuales, con la finalidad de mitigar las inundaciones y hundimientos que se presentan en la zona de estudio.

La estrategia empleada para el estudio de la problemática y su tratamiento requirieron de la visión sistemática de la red de extracción, almacenamiento, distribución y desalojo de aguas. Del análisis de los elementos que conformaban la red y sus características se pudieron observar complejas interrelaciones que además involucran a múltiples participantes en la administración y operación.

Se entiende entonces que por estas relaciones, el tamaño y su complejidad se considera al sistema de manejo de aguas en estudio una infraestructura grande, crítica y compleja (LCCI) que necesita ser monitoreada de forma permanente.

Como cualquier LCCI su situación crítica la vuelve un ente vulnerable que debe ser analizado, controlado y evaluado de forma cíclica y constante ya que las fallas en este provocan daños de gran escala. En la zona del sistema en estudio estas vulnerabilidades se manifiestan a raíz de un crecimiento de la población cada vez más demandante de agua, donde aún con la sobreexplotación del acuífero no se cubren las necesidades de la población, pero además provoca hundimientos severos del suelo que inevitablemente causa daños materiales al resto de las infraestructuras, además de situaciones

críticas temporales como son inundaciones por desbordamiento y falta de capacidad de pendiente para el desalojo natural de las aguas residuales.

Con esta visión se partió para desarrollar un trabajo en el que se integraron los elementos necesarios para dar soluciones sistémicas y planeadas, no soluciones reactivas ante las emergencias. La planeación de un esquema de funcionamiento en el que la configuración sea pensada para satisfacer las necesidades presentes sin hacer a un lado las necesidades futuras resultará en un proceso sustentable y eficiente.

La propuesta presentada está compuesta por cinco propuestas de manejo de aguas que a su vez se acompañan por estrategias representativas para su desarrollo y la mención de los principales obstáculos que pueden impedir el cumplimiento del objetivo general de cada una de ellas.

El programa se compone de las siguientes propuestas: propuesta de captación, de tratamiento, de inyección, de distribución a industrias y de distribución a la población.

La propuesta de captación pretende captar el agua en la confluencia de los ríos de influencia en el sitio denominado “La Gasera” para ser conducida hacia su tratamiento a una planta ubicada en un costado. La propuesta de tratamiento de aguas sugiere seguir el modelo de la actual PTAR “Cerro de la estrella” que ha demostrado su eficacia en el tratamiento con la calidad del agua obtenida.

Con las primeras dos propuestas desarrolladas se propone dar seguimiento por medio de la distribución y uso de las aguas tratadas en tres diferentes ámbitos. El primero se define con la propuesta de inyección al acuífero que busca la mitigación de los daños ocasionados por la sobreexplotación. La segunda es la propuesta de distribución a industrias que busca el uso en las actividades cotidianas que no requieren de un alto grado de calidad del agua. Y por último la propuesta de distribución a la población para mitigar el desabasto de la zona.

Las propuestas presentadas pretenden ser planeadas y sistémicas, lo que implica, entre otras cosas, una visión jerárquica e interrelacionada de los objetivos perseguidos y el análisis de las fricciones que pueden surgir entre ellas para ser sorteados de la forma más conveniente. Previniendo así las problemáticas que surgen al ver a los elementos de forma aislada, independiente y parcial.

Con la generación de las propuestas surge la necesidad de evaluarlas para aprobar su factibilidad técnica y viabilidad operativa; verificar por ejemplo si la tecnología que se pretende emplear es la adecuada, existe, es la más conveniente económicamente, se puede emplear en los sitios propuestos etc. O si, por el lado de la viabilidad, las propuestas son ambientalmente adecuadas, social, política y normativamente aceptadas.

Una vez que se llevó a cabo la evaluación de las propuestas se encontró que un par de ellas son operativamente viables debido a la normatividad vigente, pero también es posible analizar que la falta de estudios con respecto a la absorción del suelo, los beneficios a largo plazo por inyección, las características más convenientes para inyectar el acuífero, etc.; son factores clave para no poder llevar a cabo las propuestas actualmente y se abre la posibilidad de trabajar exhaustivamente en aspectos como la inyección e incluso la modificación de la normatividad vigente.

Las propuestas presentadas se acompañan con estrategias de trabajo que son entendidas como puntos clave para el desarrollo de cada propuesta. Las estrategias requieren de un análisis a detalle que mostrara un panorama completo para su posterior implementación, los estudios que han de hacerse para lograrlo permitirán ubicar puntos clave en el desarrollo de las mismas y generaran el enriquecimiento de los conocimientos que hasta ahora se tienen en este sector.

Aunque la evaluación de las propuestas arrojó el rechazo de algunas de ellas, la aportación de la visión sistémica de las propuestas nos sugiere un avance en la forma de planear los desarrollos hidráulicos de esta ciudad.

Las posteriores observaciones, análisis, evaluación y control de la implantación de las propuestas enriquecerán el diseño, y su flexibilidad abrirá las puertas a las modificaciones que en el transcurso sean necesarias para su optimización.

Para dar validez en cuanto a lo razonable de las propuestas se llevaron a cabo una serie de visitas a ingenieros que han dedicado gran parte de sus trabajos a cuestiones hidráulicas; los comentarios que se aportaron después de la presentación de la propuesta coinciden con la idea de que es necesario desarrollar proyectos de este tipo y aún más hacer extensiva la invitación a organismos con mayor poder de gestión y desarrollo.

Es necesario y casi imperativo seguir trabajando en propuestas que muevan a nuestra ciudad por el camino de la sustentabilidad y que en lo posterior no exista una visión aislada de las necesidades de esta sociedad, el desarrollo de nuevas tecnologías será un aliado en este camino hacia la conservación de nuestros recursos y la mejora de nuestros servicios.

Con el trabajo que he realizado invito al estudio de las posibilidades de aplicación de la tecnología en beneficio de la sociedad, empezando por el aspecto sustentable del agua; no sólo en la zona del Canal de la Compañía sino en todo el Valle de México y en las zonas del país en que sea factible.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackoff, Russell Lincoln, Idealized design: How to dissolve tomorrow's crisis...today / Russell I. Ackoff, Jason Magidson, Herbert J. Addison upper saddle river, New Jersey: Prentice Hall, 2006. 285 p.
- Gines Trinidad, Ricardo. Rediseño de la estructura de un sistema de seguridad física bajo un esquema de planeación normativa-adaptativa. México, 2011. 98 p.
- León Ardón, Rita Victoria de. Construcción de escenarios: escenarios al 2020 para el acuífero del Valle de Toluca. México, 2010. 156 p.
- Santiago Mijangos, Rosalba. Diseño idealizado de un programa para la estimación de la confiabilidad de la distribución de energía eléctrica en México. México, 2008.190 p
- Lozada Romero, Verónica. Procedimiento constructivo de lumbreras, caso de estudio: construcción de una lumbrera para el proyecto de saneamiento del Valle de México. México, 2010. 67 p.
- Jorge Legorreta, María del Carmen contreras, María de los Ángeles flores y Noemí Jiménez. Ecológica – Agua, ríos y presas sobrevivientes. 2007
- Jorge Legorreta, María del Carmen contreras, María de los Ángeles flores y Noemí Jiménez. Ecológica – Agua. Los pozos y sus efectos: el hundimiento de la ciudad. 2007
- Jorge Legorreta, María del Carmen contreras, María de los Ángeles flores y Noemí Jiménez. Ecológica – Agua. Las cuencas externas. 2007
- Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Dof.: 18/08/2009
- Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- características y especificaciones de las obras y del agua. Dof: 18/08/2009
- Comisión de cuenca de los ríos Amecameca-la compañía. Gerencia de planificación hídrica conagua .memoria taller de planeación ZOPP. Comisión de cuenca de los ríos Amecameca y la compañía.

- Conagua. Memorias de los trabajos efectuados por la subgerencia de hidrología e ingeniería de ríos, en el programa “el molino”, como parte de las actividades del operativo “Chalco”. 2000.
- Cicm. Ingeniería civil. Agua potable en el valle de México. Núm. 502. Año lxi. Febrero 2011. 40 p.
- Cicm. Ingeniería civil. Infraestructura hidráulica. Núm. 485. Año lix. Septiembre 2009. 44 p.
- Cicm. Ingeniería civil. Recarga artificial del acuífero de la ciudad de México. Núm. 495. Año lx. Julio 2010. 40 p.
- Sánchez guerrero Gabriel de las nieves, “técnicas participativas para la planeación – procesos breves de intervención”, Fundación ICA, 2003
- Comisión Nacional del Agua. Programa Nacional Hídrico 2007-2012.
- Comisión Nacional del Agua. “Estudio Integral para mejorar el Funcionamiento Hidráulico del Río de la Compañía del Valle México”, 1999.
- Comisión Nacional del Agua. “Estudio Hidrológico y Control de Avenidas en los Ríos del Oriente de la Cuenca del Valle de México”, 1997.
- Comisión Nacional del Agua. “Proyecto Ejecutivo del Dren de Alivio del Río San Francisco, en el Estado de México”, 1997.
- Comisión Nacional del Agua. “Estudio de Saneamiento del Río de La Compañía, México”, 1997.
- Comisión Nacional del Agua. “Estudio de Mecánica de Suelos realizado para el Puente Peatonal El Molino, ubicado en las márgenes del canal de La compañía en el municipio de Ixtapaluca”.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). “Análisis del Funcionamiento del Río de La Compañía y Análisis del Funcionamiento Hidráulico del Sistema de Alcantarillado propuesto para el Drenaje del Pueblo de Xico (Chalco Nuevo)”, 1994.
- Comisión del Agua del Estado de México. “Estudios y Proyectos sobre la Cuenca del Río de La Compañía”.

- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. “Modelo del Funcionamiento Hidráulico del Sistema de Canales y Lagos de Texcoco”, elaborado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. “Recursos de Agua en la Cuenca de Chalco, Hidrología de la Cuenca de Chalco”.