

El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México.

Elizabeth Díaz Cuenca

Alejandro Rafael Alvarado Granados

Karina Elizabeth Camacho Calzada

Centro de Estudios en Planeación Territorial

Facultad de Planeación Urbana y Regional

Universidad Autónoma del Estado de México, México

E-mail: ediazc@uaemex.mx; alex04_bum@hotmail.com

elikari_1613@hotmail.com

Resumen.

El tratamiento de aguas residuales domésticas en asentamientos humanos dispersos es un problema que compete al desarrollo local sostenible, para el saneamiento de estas aguas han surgido una serie de tecnologías, una de ellas son las denominadas alternativas, cuyas características son adecuadas para esos casos. Bajo dicho contexto, se formuló una propuesta con la técnica SUTRANE para las aguas residuales de las viviendas aledañas a la Laguna de San Miguel Almaya, México.

Palabras claves: tratamiento de aguas residuales, desarrollo local sostenible, técnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Abstrac

The treatment of domestic sewage in scattered settlements is a problem it is for the local sustainable development, for the remediation of these waters have been a number of technologies, one of them is the so-called alternative whose characteristics are suitable for such cases. Under this context, a proposal was formulated SUTRANE technique for waste water from homes surrounding the lagoon Almaya San Miguel, Mexico.

Keywords: wastewater treatment, sustainable local development, alternative techniques for domestic wastewater treatment

Introducción

Las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas han mostrado que el éxito de la remoción no se debe exclusivamente a la disponibilidad de las técnicas, *per se*, sino a la interacción de diversos aspectos económicos, socioculturales, biofísicos y políticos-administrativos que comprende un territorio (Alvarado, 2012), en este sentido el enfoque del Desarrollo Local Sostenible es un instrumento teórico apto para aproximarse al estudio de dicha realidad.

En el Estado de México, en particular en el Valle de Toluca existe una sobreexplotación del acuífero, pues la demanda es mayor a la oferta hídrica, y según las predicciones de Díez (Alvarado, 2012:95-115) esta tendencia continuara, sino existen políticas que atiendan tal problema. Además de que, el crecimiento de los asentamientos humanos continua su incremento. Ante tal problemática, se han planteado diversas estrategias, una de ellas es el tratamiento de aguas residuales, como uno de los medios para remediar la contaminación del agua, y de esta manera contribuir al desbalance hídrico, dado que se puede reutilizar el agua del efluente tratado.

Para el saneamiento de las aguas residuales, los gobiernos estatal y municipales, tienen en operación plantas tratadoras de agua, en el Valle de Toluca se destacan dos macroplantas, las cuales dan servicio a las zonas urbanas donde los asentamientos humanos se concentran, justificadas por las economías de escala, que favorecen la convergencia de caudales de aguas servidas. De esta manera, se da respuesta parcial al problema de la contaminación de agua, a través de acciones correctivas y sólo a los sectores de población que se encuentran en las zonas de influencia de los colectores que alimentan a dichas plantas, dejando al margen al resto de la población, incluyendo los asentamientos humanos dispersos, así como la carencia de acciones proactivas.

En el tratamiento del agua residual de las macroplantas, se utiliza una tecnología que se le puede denominar Convencional, con la cual para depurar el agua, implica un uso de energía, costos de operación que se incrementan por el traslado de subproductos, como los lodos residuales, que no siempre encuentran un sitio de disposición final que aproveche la sinergia de estos, dejando de lado, los beneficios como son el biogás y los nutrientes que contienen.

Existen otras técnicas de tratamiento de aguas residuales a las que se les puede denominar como Alternativas, debido a que no son consideradas convencionalmente por los órganos de gobierno, pero que pueden ser parte de la respuesta para el tratamiento, y en particular para aquellas áreas dispersas, que no cuenta ni con la cultura, ni con los recursos financieros para ello, pero sobretodo, este tipo de técnicas siguen la dinámica de la naturaleza.

Por lo anterior, y dada la amplitud del problema, conviene estudiar el tratamiento de aguas residuales desde diversas tecnologías, en este caso se pretende abordar las Alternativas y sólo en el ámbito correctivo, pero sobre todo con la pretensión de que se ejecute en pro del beneficio del desarrollo local, en este sentido el objetivo de este documento es proponer una técnica de tratamiento de agua residual para los asentamientos humanos aledaños a la laguna de San Miguel Almaya, municipio de Capulhuac, a partir de las características de la localidad y de los principios del desarrollo local sostenible mediante la valoración de tres técnicas: los humedales, el Sistema de Unitario de Tratamiento,

Nutrientes y Energía (SUTRANE), el Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con descarga cero (SIASA).

San Miguel Almaya es una localidad del Estado de México que tiene una Laguna formada por manantiales, la cual se encuentra contaminada, por diversas causas una de ellas es la descarga a cielo abierto de aguas residuales de las viviendas aledañas a la misma, las cuales se encuentran dispersas y no se están vinculadas a un colector de aguas residuales.

I. El tratamiento de aguas residuales en el contexto del Desarrollo Local Sostenible

1. Características del enfoque del Desarrollo Local Sostenible

El estudio del tratamiento del agua residual doméstica bajo los principios del enfoque teórico del Desarrollo Local Sostenible, permite conocer la características del caso de estudio con un acercamiento mejor a la realidad, pues considera los diversos elementos sociales, culturales, tecnológicos, políticos-administrativos y económicos que le compone, además, comprende dos aspectos esenciales para un desarrollo equitativo, la visión territorial y la sostenibilidad.

Una vía adecuada para el manejo de los recursos naturales es desde el ámbito local, entendido este como el espacio territorial donde los actores locales son quienes se encuentran en contacto directo con los recursos, pues en la mayoría de las veces ellos mismos son los usuarios, y a su vez, pueden ser obstáculo o promotores de ejecutar los programas que desde el órgano central se establecen, en este sentido se adopta el concepto de Desarrollo Local Sostenible (DLS) que permite acercarnos a un caso de estudio.

El concepto de Desarrollo Local Sostenible tiene sus orígenes en dos vertientes teóricas, una del desarrollo regional, al preocuparse por la equidad y la territorialidad de los beneficios; y la otra, desde el concepto de desarrollo sustentable, el cual hace referencia al uso y manejo de los recursos naturales buscando el equilibrio natural. Con la articulación de dichas vertientes se pretende tener un referente del desarrollo más cercano a las necesidades de la realidad, de ahí que las propuestas se dirigen y cobijan en dicho enfoque.

Algunos autores han definido al DLS como, al proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, que lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social, la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo que se sustentan en el equilibrio ecológico y el soporte vital de la región. (Muñoz, 2008)

Asimismo, Boffil (2009) define al Desarrollo Local Sostenible como el proceso endógeno de transformación de las localidades, fundamentadas en una estrategia de desarrollo local con políticas diseñadas para lograr una efectiva participación de su población en la solución de los problemas y aprovechamiento de las oportunidades, para abordar de forma equilibrada e integrada, los aspectos sociales, económicos y ambientales, en el contexto donde se realizan las actividades cotidianas

En estas definiciones se destacan tres aspectos principales, primero el estudio del desarrollo es complejo porque interactúan diversas disciplinas: económico, social, cultural, físico-geográfico y político; segundo, a nivel local es donde la relación hombre-naturaleza se expresa de manera más directa con agentes definidos; y tercero, se busca el equilibrio en la relación naturaleza-sociedad. Por lo que, estudiar el desarrollo implica adoptar una

concepción holística, es decir considerar las disciplinas que se involucran en la intervención hombre–naturaleza, y bajo una metodología sistemática. El enfoque de sistemas propone una aproximación y representación de la realidad a través de la identificación de características desde las diversas disciplinas, para su análisis y comprensión de las partes constituyentes, lo cual es un paso importante, necesario, pero no suficiente para conocer el caso de estudio. En tal sentido, se requiere articular el conocimiento parcial de los componentes, a partir del modelo de totalidad establecido. De ahí que, Murga (2006: 12) señale que el desafío científico, social y cultural que plantea la complejidad de los sistemas vivos (físicos y sociales), obliga a abandonar los sistemas lineales por multidisciplinarios para tener una visión más completa de la realidad.

El tratamiento de aguas residuales es un problema que se presenta en la vida de varias localidades, en este caso se estudiará bajo el enfoque de Desarrollo Local Sostenible como se ha mencionado, al pretender que se considere las características biofísicas, la participación de los agentes locales, su cultura y tradiciones, su situación económica en la formulación de una propuesta de tratamiento de aguas en el caso de estudio.

2. El tratamiento de aguas residuales y sus técnicas de tratamiento.

Por aguas residuales se entiende a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, formas de energía o inducir condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implica alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. Estas aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos.

De manera específica, las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Mara, 1990). Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, y por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas, éstas se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas.

En el caso de las técnicas convencionales se refieren aquellas aceptadas sin discusión al interior de un grupo social como si estuviera convenido o pactado y que se asume por costumbre, e incluso, llega a tomarse como la norma; en contraposición, lo alternativo, se refiere a todo aquello que se contrapone a lo convencional, pero que es capaz de alternar con las mismas o semejantes funciones y resultados. Bajo estas premisas, las tecnologías

convencionales son aquellas usadas por la gran mayoría de la población, para atender las necesidades productivas y de la vida cotidiana, mientras que las alternativas surgen ante las insuficiencias de las tecnologías convencionales, hasta que algunas de ellas alcanzan a desplazar a las establecidas, en un proceso dialéctico de constante cambio.

Para esas condiciones, se han generado tecnologías alternativas que en esencia también limpian el agua de los compuestos orgánicos biodegradables a partir del manejo de microorganismos, pero *in situ*, en el mismo lugar donde se generan y a escala reducida, con posibilidad de su reúso inmediato, para ofrecer cierto nivel de autosuficiencia, en condiciones que limitan el uso de sustancias químicas, las cuales pueden ser nocivas para el sistema microbiano, lo cual implica una cultura distinta en el uso del agua.

Ante dichas características se eligió tomar las tecnologías alternativas para el caso de estudio, debido a que se trata de asentamientos dispersos que no cuenta con un colector, por su ubicación topográfica; los recursos financieros de la delegación son escasos y sobre todo, porque son respetuosas a la naturaleza, al considerar el aprovechamiento de ésta más que sacar ventajas de ella.

II. Las técnicas de tratamiento de agua residual en el Estado de México.

En este apartado se expone algunas características desde lo político-administrativo, con respecto a la visión que tienen el gobierno, sobre el saneamiento y las técnicas de tratamiento de las mismas. En el Estado de México se muestra que el tratamiento de aguas residuales es uno de los problemas importantes, dado que se experimenta un déficit en su balance hídrico, se estima que en 2005 existía una oferta de 40.39 m³/segundo y una demanda de 46.189 m³/segundo, (CAEM;2007:23) situación que lo convierte en un problema a atender impostergable, más aún considerando que se localizan dos grandes zonas metropolitanas, la de los Valles de México y de Toluca, las cuales siguen creciendo, situación que muestra la magnitud del problema.

1. Técnicas de tratamiento de aguas residuales convencionales.

Para abordar las técnicas convencionales se examinaron algunos planes y programas del periodo gubernamental vigente, se parte de la premisa de que el proceso de planeación hidráulico de nuestro país desempeña un papel fundamental, al ser el punto de origen de las políticas, estrategias y acciones emprendidas, en este sentido, mediante el examen de estos documentos se puede identificar la postura del gobierno ante dicho problema y por dónde se orienta su acción.

La planeación en nuestro país se desarrolla en diversos niveles; en el contexto nacional se plantean las grandes políticas y estrategias asociadas al manejo y preservación del agua, en el contexto regional se particulariza su instrumentación considerando las características de cada zona del territorio y en el ámbito local se aplican para impactar favorablemente el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente. Por ello, el identificar los objetivos a nivel nacional permitirá reconocer como puede orientarse las acciones a nivel local, de ahí que se reviso el programa nacional y algunos otros, que a nivel regional han surgido en torno al saneamiento de aguas residuales, en el periodo 2007-2012.

El principal documento que rige el tratamiento de las aguas residuales es el Programa Nacional Hídrico 2007-2012 (PNH), el gobierno federal lo formulo en correspondencia al

Plan Nacional de Desarrollo y al Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales del mismo periodo. El PNH establecen cuatro objetivos principales: mejorar la productividad del agua en el sector agrícola; incrementar el acceso y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento; promover el manejo integrado y sustentable del agua en cuencas y acuíferos; mejorar el desarrollo técnico (CONAGUA, 2008:21). Como se puede observar, el segundo objetivo le compete directamente al saneamiento o tratamiento de aguas residuales, a través de su estrategia dos, donde dice **“tratar las aguas residuales generadas y fomentar su reúso e intercambio”**, y se plantea como meta para el 2012 alcanzar el 60% de las aguas residuales colectadas. Cabe destacar que en el periodo 2000-2008 la cobertura de tratamiento de aguas residuales pasó de 23% a 40.2%, sin embargo, se considera necesario redoblar esfuerzos para lograr la meta propuesta para el final de presente sexenio.

Al parecer el gobierno muestra interés para tratar las aguas residuales al considerársele como uno de los objetivos principales que han dado origen a una serie de programas a nivel nacional y estatal, tales como: Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR); Programa de Incentivos a la Inversión en el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Turísticas y Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS) (CONAGUA, 2009:50), asimismo, han surgido fondos de financiamiento para apoyar a la tarea del tratamiento de aguas residuales, como el Fondo Concursable para el Tratamiento de Aguas Residuales, sin embargo, se requiere observar como estas iniciativas han impactado a nivel local.

A nivel del Estado de México, se establecen dos grandes instrumentos de planeación, el primero, se dirige al Valle de México, cuya emisión de aguas negras es abundante y se sanea aproximadamente un 10% del total. Para ello, se establece el Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México, cuyos objetivos principales son: el tratamiento del 100% de las aguas residuales y el saneamiento de cauces con aguas negras a cielo abierto (www.conagua.gob.mx). En este Programa se tiene considerado un gran proyecto, la Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco, esta pretende limpiar a las aguas residuales de la ciudad de México y algunos municipios del Estado de México.

El segundo es el Plan Maestro para la Restauración Ambiental de la Cuenca Alta del Río Lerma, dada la situación de sobreexplotación de los acuíferos por la creciente demanda que se ha venido dando en las zonas metropolitanas, lo cual ha generado el abatimiento del nivel freático y hundimientos, lo que dificulta las descargas de agua por gravedad al río Lerma. Además, otro problema que destaca es la contaminación del agua por el excesivo volumen de aguas residuales generadas y la falta de sistemas de tratamiento, a su vez, estas descargas a los cuerpos de agua han afectado el hábitat de flora y fauna de la región. De ahí, que dicho Plan plantea dirigir sus acciones a la solución de los pozos profundos para extracción de agua potable, captación, retención e inyección de aguas pluviales; se incluye la separación de aguas pluviales y negras, la construcción de represas y acondicionamiento de afluentes del río Lerma, la construcción, rehabilitación, mantenimiento y ampliación de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la construcción de humedales artificiales para tratamiento coadyuvar a la mejora de la calidad del agua residual (Secretaría del Medio Ambiente, 2010: 30). Al parecer, existen diversas medidas que se dirigen a resolver el saneamiento del agua residual.

Del total de aguas residuales tratadas, el gobierno federal estima que han sido a través de las técnicas siguiente: lodos activados 44.32%, lagunas de estabilización 17.96% y lagunas airadas 7.66% del total de aguas residuales colectadas, (CONAGUA, 2009:52) Es evidente que las plantas de tratamiento han tomado fuerza, su elección quizás se deba por el volumen de agua que pueden tratar, aunque cabe destacar los altos costos de energía que implican y los costos de transporte en la reubicación de los lodos. Según CONAGUA en diciembre de 2008 existían en el país 1 833 plantas en operación formal, estas en operación procesan un caudal de 83.6 metros cúbicos por segundo, equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales generadas y colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales, estimado en 208 metros cúbicos por segundo.

En el Estado de México se utilizan técnicas similares a nivel federal, del tratamiento total de agua el 73% fue por lodos activados y 33% por lagunas de estabilización, aunque se señala las lagunas airadas, no se encontraron datos que reportaran su realización. La localización de éstas y la técnica usada se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Localización y técnica de saneamiento de aguas residuales en el Estado de México, 2008.

No.	Localización	Plantas Tratadoras	Lagunas de Estabilización
1	Cuautitlán	1	
2	Naucalpan	12	
3	San Fco Coacalco	2	
4	Zumpango	1	
5	Tepozotlán	1	
6	Axapusco	1	
7	Jocotitlán	1	
8	Capulhuac-Xalatlaco- Santiago.	1	
9	Atlacomulco	1	
10	Aculco	1	
11	Timilpán	1	
12	Calimaya	1	
13	Texcaltitlán	1	
14	Zacazonapan	1	
15	Cereso de Texcoco	1	
16	Tenancingo	1	
17	Ozumba	1	
18	Amanalco	1	
19	Toluca Nte y Ote	2	
20	Santa María Rayón	1	
21	Cuenca de Lerma		14
22	Luvianos		1
TOTAL		33	15

Fuente: Elaboración propia con base a datos de la CAEM y Comisión Nacional del Agua 2009: *Situación del Subsector Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento*. SEMARNAP, México.

Cabe destacar que de los 125 municipios del Estado, solo el 20% del total, poseen un medio para el tratamiento de aguas residuales, los municipios señalados en el cuadro 1. Un aspecto a destacar es que en los 33 municipios que comprenden la Cuenca de Alto Lerma, en su Bando Municipal, documento legislativo, establece entre otros: que queda

expresamente prohibido verter y descargar contaminantes en el suelo y agua; interrumpir los flujos hidráulicos y realizar actividades cinegéticas; que los ayuntamientos formularán e impulsarán programas y acciones en materia ambiental; que deben expedir el Reglamento Municipal de Protección al Medio Ambiente (CAEM, 2007).

Las técnicas convencionales se tratan de **plantas de “lodos activados”, y “lagunas de estabilización”**, las cuales atienden a el agua vertida en el alcantarillado de grandes extensiones, que por economías de escala reducen los costos económicos, pero con otros de carácter ambiental, como son la generación de residuos (lodos), gastos de energía y atención sólo a partir de cierto número de viviendas. En tal sentido, surge la pregunta de ¿qué hacer ante pequeñas poblaciones, incluso de unas cuantas viviendas aisladas, cómo reducir o eliminar los lodos, así como el consumo y energía? De la respuesta a estas interrogantes, surgen las propuestas alternas que se han establecido en distintos puntos del territorio nacional, con poca significación por su cantidad, pero con amplias expectativas por su eficacia, eficiencia y adaptabilidad a las condiciones locales de aislamiento, donde las redes de drenaje no llegan, que cuentan con poco capital, pero sí disponen de mano de obra.

Por consiguiente, desde el punto de vista político-administrativo el tratamiento de las aguas residuales es un problema importante, pues lo señalan los diversos planes y programas que han surgido en torno al tratamiento. Las técnicas que se han adoptado las diversas instancias cubren parte de la problemática, sin embargo, los asentamientos humanos dispersos se quedan al margen de este apoyo, por ello se presenta como una vía las tecnologías alternativas, algunos ejemplos de éstas son las que se describen en el siguiente apartado.

2. Técnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Las técnicas alternativas son una opción para el tratamiento de las aguas residuales de los asentamientos humanos dispersos, un ejemplo de ellos son: SUTRANE, SIASA y Humedales Artificiales; las cuales se caracterizan por su procedimiento simple, costos de insumos bajos comparativamente con respecto a las convencionales, bajos costos de energía eléctrica y de mantenimiento, pero principalmente por su armonía con el equilibrio de la naturaleza. Cabe destacar que la técnica de los Humedales artificiales también es una técnica propuesta por los órganos políticos-administrativos del gobierno, sin embargo, en este trabajo se ha ubicado, como alternativa porque aún no se registra como una técnica de uso masivo. En adelante se describirá algunas características de éstas.

2.1. El Sistema Unitario de Tratamiento del Agua, Nutrientes y Energía (SUTRANE)

Esta es una técnica natural que consta de dos vías: la fosa de aguas grises (jabonosas) y la fosa de aguas negras, en ambas fosas hay un proceso de biodegradación; en la primera, la biodegradación es aeróbica gracias a la acción del aire, lirios acuáticos y del sol; en la fosa de aguas negras hay un proceso de biodegradación anaeróbica debido a la acción de sus bacterias correspondientes. Ambas fosas se construyen de ferrocemento¹, lo más cerca a las instalaciones de uso y consumo del agua, de esa manera disminuye el costo de tubería y mangueras de las líneas de distribución del agua y de los drenajes.

¹ El ferrocemento es un material de construcción compuesto, de poco espesor, flexible, en la que un gran número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal.

Filtro biofísico: para optimizar el proceso biodegradatorio de las aguas de desecho se ha vinculado un filtro biofísico, el cual consta de 2 o 3 canales impermeabilizados donde se bloque toda la posibilidad de filtraciones. Estos canales de abajo hacia arriba se cubren con capas de piedra bola, gravilla, grava y arena exterior se extiende una capa de tierra vegetal y en ella se siembran hortalizas y flores. Este filtro biofísico se constituye en un cultivo hidropónico.

Fosa recolectora: el sistema se complementa con un depósito de ferrocemento donde se van acumulando las aguas enriquecidas que no fueron asimiladas por las plantas de hortaliza o el cultivo de flores.

Después de la construcción de estos dos filtros y diseñar la caída y distribución del agua para su propia purificación, se requiere un mantenimiento sistemático de una vez al mes aproximadamente, que consiste en levantar la tapa del biodigestor y extraer la nata de grasa. Pero sobre todo si se desea esta agua al mismo tiempo de aprovecharse como nutriente para las plantas o invernaderos que se pudiere apoyar. Cabe destacar que el funcionamiento de la técnica será más eficiente si se usa en las actividades diarias de lavado y uso del baño, jabón de barra en lugar de detergente en polvo.

2.2. Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua (SIASA-0)

El SIASA consiste en separar los drenajes de aguas grises y de aguas negras. Se capta agua en techos durante las lluvias y se cuenta con el agua potable de la red que van a un tinaco de servicio para surtir a regaderas, lavabos y fregadero. Una vez usada el agua (primer uso) se conduce al sistema de tratamiento de aguas grises, en donde se pasa por un tanque sedimentador y desnatador, se le inyecta aire y ozono para desinfectar y clarificar, para después bombearla a un tinaco de agua tratada.

Este segundo tinaco distribuye agua para los tanques de los inodoros (WC) y la toma de agua de servicio en el cuarto de lavado y patios, para ser usada en lavado de coches, aseo de pisos y limpieza en general. Después de su segundo uso, el agua se dirige a una cisterna de aguas negras.

El tratamiento de las aguas negras implica una trampa de sólidos, un biodigestor anaerobio, la inyección de aire y ozono, un filtro de poliéster, un tanque de recirculación y finalmente una cisterna de agua de servicio. Esta agua tiene su tercer uso al servir para el riego de las áreas verdes de los condominios, en donde se reinfiltro o evapora.

Se debe resaltar que los dos tratamientos que se realizan para lograr el triple uso del agua son muy bajos en cuanto al consumo de energía y a las emisiones de CO₂ al ambiente, comparado con los métodos tradicionales de lodos activados de las técnicas convencionales.

2.3. Humedal Artificial.

Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual suelen tener un fondo o base impermeable sobre la que se deposita un lecho de gravas, suelo u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador. Los humedales logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial. Además, interactúan con la atmósfera. La forma en que

estos humedales trabajan tiene similitud con los procesos biológicos que se dan en la naturaleza y en los filtros por goteo utilizados en las plantas de tratamiento convencionales.

En los humedales los procesos físicos, químicos y biológicos se llevan a cabo por los vegetales y microorganismos, ya que son capaces de depurar el agua eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y en algunos casos productos químicos tóxicos. La vegetación en estas zonas es productiva y tiene la finalidad de transmitir el oxígeno desde las hojas hasta las raíces, donde además se produce la interacción planta-agua durante los procesos de nitrificación-desnitrificación y controla la cantidad de luz que llega al agua limitando la formación de algas. En estas condiciones, se facilita la adsorción y filtración de los contaminantes procedentes de aguas residuales (Lara, 1999).

Los Humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y a la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes (Llagas, 2006).

En cuanto a la remoción biológica los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas de los humedales. Sin embargo, muchas especies de plantas de los humedales son capaces de captar, e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como cadmio y plomo. La velocidad de remoción de contaminante por las plantas varía extensamente, dependiendo de la velocidad de crecimiento de la planta y de la concentración del contaminante en tejido de planta.

En cuanto a la remoción química más importante es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La absorción es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). (Llagas, 2006). La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química. El intercambio catiónico implica la unión física de los cationes (iones positivamente cargados) a las superficies de las partículas de la arcilla y de la materia orgánica en el suelo. Esto es una unión mucho más débil que la unión química, por lo tanto, los cationes no se inmovilizan permanentemente en el suelo. La capacidad de los suelos para la retención de cationes, expresada como capacidad de intercambio catiónico (CEC), aumenta generalmente con el aumento de contenido de la arcilla y de la materia orgánica.

Existen dos tipos de humedales construidos, dependiendo de la situación del nivel de agua: el denominado de flujo superficial, donde el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal del oxígeno para aireación; y el denominado de flujo sub-superficial, donde la superficie del agua se mantiene a nivel de la superficie del lecho permeable o por debajo de la misma.

Ante las características de las técnicas alternativas descritas se distinguen algunas cualidades comunes, de éstas tales como:

- El de insertarse en el ciclo hidrológico sin alterarlo, facilitando la recarga natural de los acuíferos, no contaminando las aguas superficiales y tierras toda vez que no hay descarga.
- El efluente es apto para su reusó, ya sea para jardinería, construcción, consumo animal.

- No requieren de maquinaria específica para su operación, ni personal cualificado para su construcción, operación y mantenimiento
- Son sistemas sencillos, no requiere de gran mantenimiento, no produce olores desagradables
- No impactan el paisaje, ya que se ubica en un área pequeña de jardín, o bien en el caso de los humedales proporcionan un hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista
- Riego enriquecido de nutrientes para cultivos y jardines

Asimismo, se identificaron algunos costos entre las técnicas alternativas tratadas, tales como: el SUTRANE y el SIASA son técnicas similares, estas implican un mantenimiento periódico, extraer la nata de grasa de la caja. Además, requieren el uso de jabón biodegradable para evitar la muerte de las bacterias que ayudan a limpiar el agua. Sin embargo, el SIASA requiere de otros insumos como el ozono, lo que implica un costo más alto que el primero.

Algunos costos del humedal que se encontraron son: los tiempos de proceso pueden ser largos por la gran superficie que requieren estos sistemas en comparación con otros, y la dificultad de la puesta en marcha, además son más complicados en diseñar debido a la gran cantidad de procesos implicados en la depuración físicos, químicos y biológicos; la proliferación de raíces y rizomas puede provocar una maraña que junto con el aporte de grasas aceites y materiales finos inertes favorezca la colmatación del medio granular de los humedales de flujo sub-superficial.; requieren un área extensa en comparación con las otras técnicas; éstos en climas extremadamente fríos pueden no ser factibles, desde el punto de vista económico o técnico. Según García (2005) los humedales operan casi a velocidades de flujo y caudal constante y están sujetos a drásticos cambios en la remoción de DBO, debido a los cambios en la temperatura del agua, por esta razón en zonas templadas estos sistemas de tratamiento tienden a variar su eficiencia durante el año.

III. Situación de la localidad de San Miguel Almaya

3.1. Características de San Miguel Almaya

San Miguel Almaya es una localidad del municipio de Capulhuac, Estado de México, las autoridades locales solicitan una solución a la contaminación de su Laguna, la cual se encuentra invadida por lirio, se ha identificado que una de ellas es el desalojo de aguas residuales de las viviendas próximas a esta. Esta localidad cuenta con características biofísicas, sociocultural, económica y político-administrativo que se requieren tomar en cuenta para la elección el medio para tratar las aguas residuales de dichas viviendas.

Esta comunidad se localiza entre dos zonas metropolitanas, Ciudad de México y la de Toluca, los cuales experimentan un crecimiento importante de asentamientos humanos, por lo que, es importante conservar los ecosistemas naturales de la zona, los cuales ayudan a mantener las funciones ambientales que requiere la población.

Desde la esfera biofísica cabe señalar, que la principal corriente que escurre hacia San Miguel Almaya, lo hace a través del arroyo “Muerto”, que es el curso de agua que colecta la mayor parte del aporte superficial al cuerpo de agua de la localidad. Otros escurrimientos superficiales que llegan a la Laguna de Almaya, son un par de afluentes pequeños, que

descienden por la ladera oriental del volcán Quilotzin. Tanto el arroyo Muerto como los escurrimientos que llegan directamente a la Laguna tienen su propia cuenca, la primera con una extensión de 2,120.9 ha, y la segunda, con 148.4 hectáreas respectivamente, que por la presencia de rocas ígneas extrusivas provocan procesos de infiltración, a través de los materiales geológicos que están presentes

Es importante destacar que el agua de lluvia en estas cuencas se llega a mezclar con aguas residuales, fundamentalmente de origen doméstico, toda vez que en las mencionadas cuencas no existen fábricas y no se han detectado talleres industriales. En consecuencia, las aguas combinadas le aportan nutrientes a la laguna, que abonan a la vegetación acuática.

Con relación al agua que se filtra en el acuífero, ofrece diversas funciones ambientales: por una parte, dosifica el agua de lluvia a lo largo del año, a través de manantiales, muchos de ellos permanentes, como los que contribuyen a mantener la Laguna, en el costado oriental de este cuerpo de agua, a la vez que constituyen la fuente de abastecimiento del agua que se distribuye a la población de San Miguel. Otra función del agua que se filtra al acuífero, es que minimiza los escurrimientos superficiales y, eventualmente reduce la probabilidad de desbordamiento de los cauces de los ríos y arroyos.

Desde el aspecto socio-cultural, se destaca que la propiedad de la tierra ha sido comunal desde la época prehispánica, existía la propiedad privada solo para los dirigentes, quienes podían arrendarla. Los hombres del pueblo estaban organizados en *calpulli* (grupo de personas que vivían en un territorio definido). Las parcelas se distribuían entre sus miembros, quienes escogían la más adecuada según calidad de tierra y el cultivo. A la vez que se contaba con una reserva de tierra para distribuir a las futuras familias. Actualmente, el régimen comunal de la tierra ha influido en diversos comportamientos de la población, como el hecho de no permitir migrar a su territorio de manera arbitraria, sin ser consultado por el Comité de Bienes Comunales.

La localidad se declaró como indígena, la Ley de Derechos y Cultura indígena la Ley Agraria señala que los miembros de la comunidad son copropietarios de las tierras, bosques y aguas reconocidas en la resolución presidencial del 14 de agosto de 1946 y reconoce a Almaya como comunidad otomí-nahua, la cual le atribuye su libre determinación y autonomía para regirse. Esta situación que ha provocado en Almaya comportamientos y confusiones peculiares tales como: que las autoridades locales no sean designadas desde el cabildo municipal como se hace comúnmente, sino la población de la localidad es quien las elige, en de su reunión de Asamblea General. Asimismo, ha influido en la forma de organización social, cuya característica destacable es el trabajo comunitario para cubrir las necesidades demandas de la población de la localidad.

En cuanto al aspecto educativo la población en edad escolar registra un grado de escolaridad de 8.08 años (INEGI, 2000b), un poco más alto que el promedio estatal, el cual es de 8.03, es decir, casi cuentan con el nivel medio básico completo. En este mismo aspecto, se expone que el porcentaje de población alfabeta es de 94% igual que a nivel estatal, pero menor que en el municipio de Capulhuac, el cual registra el 95% del total.

Desde la política-administrativo, Almaya cuenta con estructura organizativa formada por las instancias siguientes: Asamblea General, Cabildo y las autoridades locales, esta última compuesta por delegados, y representantes de los diversos Comités de trabajo, donde la máxima instancia de gobierno es la Asamblea, la cual se realiza ordinariamente cada año, o

de manera extraordinaria cuando se requiere resolver algún asunto urgente para la comunidad. Esta Asamblea es una reunión en pleno de la población en general en donde se tratan diversos asuntos, principalmente, los relacionados al desarrollo comunitario y problemas legales de tierras entre comuneros o con otros pueblos colindantes.

3.2. Valoración de las técnicas alternativas para San Miguel Almaya.

En este apartado se valorara las tres técnicas naturales que se describieron anteriormente, con base algunos principios del desarrollo local sustentable, las características de la localidad y los costos de las mismas técnicas, desde el punto de vista tecnológico y político-administrativo, se pretende realizar una intersección de estos aspectos para definir la técnica adecuada para el caso de estudio.

Desde las características de la localidad y con base a los principios del enfoque del DLS, en virtud de su tradición de trabajos comunitarios en la localidad y de su nivel educativo, se deduce la disposición para echar andar alguna técnica alternativa, además por la manifestación explícita del deseo de evitar la contaminación de la laguna, por parte de algunas autoridades de la localidad. Asimismo, existe identidad de la población con la laguna porque ha sido fuente de convivencia, de eventos religiosos y de ingreso financiero, también han expuesto los cambios que han sufrido en la flora y fauna en el transcurso del tiempo, todo esto muestra la disposición por participar en la gestión, ejecución y operación de alguna técnica.

Desde lo político-administrativo, la técnica de humedales es la única que se enuncia en planes y programas a nivel estatal, se puede inferir que podría contar con apoyo del gobierno para llevarse a cabo dicha técnica, en comparación con las otras. A nivel local, destaca la existencia de una estructura organización compuesta por delegados y representantes de comités, que han tenido experiencia de gestión, para acercarse de apoyos.

Desde el punto de vista tecnológico, la técnica adecuada es el SUTRANE, debido a que requiere menos insumos que el SIASA, y menos extensión territorial que el humedal, además, que la localidad es de clima templado, la cual ha experimentado muy bajas temperaturas, situación que hace vulnerable a esta técnica, como se ha descrito en apartado anterior.

Por consiguiente, la técnica de tratamiento de aguas residuales de las viviendas aledañas a la laguna y las que en un futuro se asiente, es el SUTRANE, porque aunque no es considerada desde el ámbito político, se cuenta con experiencia en la gestión de los recursos para ponerla en marcha. En adelante se describirá a grandes rasgos la propuesta de ésta, cabe destacar que esta ha sido elaborada conjuntamente con algunos funcionarios locales, con la pretensión de que responda a las necesidades locales.

IV. Propuesta del Sistema Unitario de Tratamiento de Agua Residual Doméstica para las viviendas de la periferia de la Laguna de San Miguel Almaya.

Con base a la técnica de tratamiento de agua residual seleccionada en el apartado anterior, se procedió a formular un proyecto que consiste en definir los requerimientos para la instalación y manejo del Sistema Unitario de Tratamiento, Nutrientes y Energía (SUTRANE) para las viviendas que se ubican cerca de la Laguna, y para aquellas que en un futuro deseen asentarse en dicha área. En este sentido, se acordó conjuntamente con algunas autoridades de la comunidad, que este proyecto se instrumentara en una de esas

viviendas, y a partir de ésta, se procediera a difundir la técnica y a sensibilizar a los propietarios del resto, y de esa manera, ellos mismo se apropiaran de la técnica. En adelante se describen de forma general, aspectos que comprende el proyecto, organizando la exposición según las diversas esferas de estudios de un proyecto de inversión: mercado, técnico, evaluación social y ambiental, excepto el financiero, el cual todavía falta convenir algunos costos con la localidad.

a) Estudio de Mercado:

- Demanda

Las aguas residuales de las viviendas que se encuentran en la periferia de la Laguna, y las que en un futuro se asienten, contribuyen a la contaminación de la Laguna por las sustancias nutrientes que han provocado la creación de maleza en exceso, a través de la infiltración a los mantos freáticos que llegan a los manantiales.

Actualmente, las viviendas que se encuentran cercanas a la Laguna son siete, para estas viviendas se dirige el proyecto, además para los asentamientos humanos que en lo sucesivo se asienten, pues las autoridades locales pretenden promover un proyecto turístico que implica construir otros asentamientos humanos. En este sentido, aunque la demanda actual no es numerosa, se prevé que se incremente ya sea por el mismo proyecto turístico, o por la decisión de los comuneros que poseen los predios en la periferia de la Laguna.

Cabe destacar, que el origen del proyecto no fue por la demanda de dichos propietarios de las viviendas, sino por los resultados del diagnóstico del saneamiento de la Laguna determino la necesidad de que las viviendas que se localizan alrededor de ella, las cuales no se encuentran conectadas con el colector comunal, por su incompatibilidad físico-geográfica. Sin embargo, con base a entrevistas a algunos funcionarios locales y de la población se percibe preocupación sobre la invasión de lirio en la Laguna, pues ni estética, ni productivamente le consideran adecuado.

Se percibe en los potenciales usuarios una identidad con la Laguna, pues ella es parte de su historia, al ser centro de convivencia, religiosidad, alimento y de ingreso, quizás por ello, algunas autoridades locales y la población de la misma localidad manifiestan su preocupación sobre la situación de esta Laguna.

Con base al diagnóstico de la comunidad se destacan algunas características que pueden favorecer la instrumentación del SUTRANE, tales como la tradición de participación de la población en trabajos comunitarios, han distinguido los cambios ecológicos que ha sufrido su localidad en específico la Laguna, además, alguno de ellos incluso han buscado la forma de evitar dejar correr el agua residual en la Laguna. Estas características permiten inferir que existe disposición para llevarse a cabo dicho proyecto.

- Oferta

El SUTRANE es un sistema que da balance y recuperación al agua residual de uso doméstico, elimina los malos olores y contaminación. Su manejo es simple, es decir, no se requiere de una preparación muy especializada, sino de una capacitación básica, control y seguimiento del tratamiento. Esta capacitación será orientada a los responsables de la vivienda, para el caso de la construcción es necesario el apoyo de un trabajador de la construcción con base a las especificaciones técnicas del autor del sistema (según diseño del apartado técnico del proyecto).

Esta capacitación se puede dar mediante dos instancias, una por la fundación Xochicalli, cuyo presidente y autor de la técnica es el Ing. Jesús Arias Chávez, quien la ha ejecutado y difundido en diversos lugares, tienen una página web denominada xochicallijachahoo.com.mx. Y otro grupo que puede apoyar en la capacitación es el GRUPEDSAC (grupo para promover la educación y el desarrollo sustentable, A.C.), mediante su centro de aplicación de tecnologías (CEDER) localizado en Piedra Grande, Huixquilcan, Edo de México.

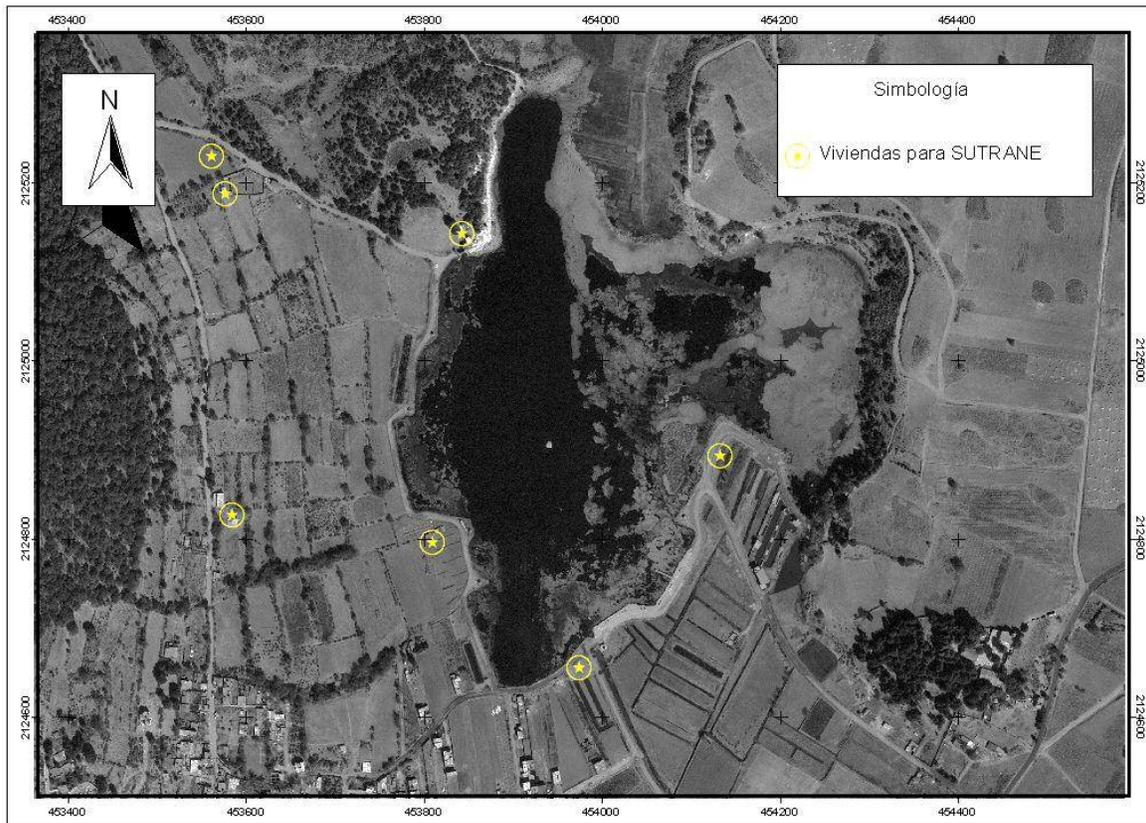
La formulación del proyecto se dirigirá a la instrumentación en una de las siete viviendas, a sugerencia de algunas de las autoridades de la localidad, lo cual servirá como prototipo para enseñanza y sensibilización para que los usuarios se apropien de la técnica.

b) Estudio Técnico.

- Localización

La técnica se pretende aplicar para las viviendas aledañas a la Laguna, como se comentó anteriormente, las cuales se muestran en el mapa 1.

Mapa 1. Viviendas aledañas a la laguna de San Miguel Almaya, Capulhuac, México.



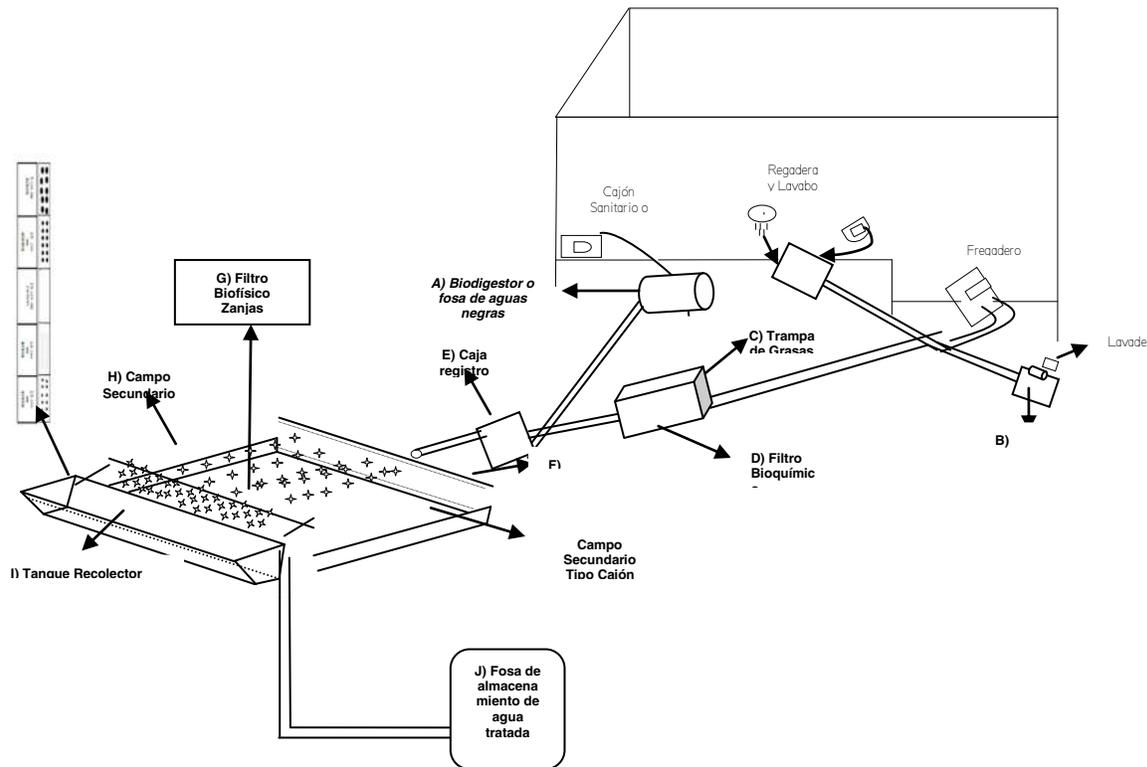
Fuente: Elaboración propia con base a información de autoridades locales.

- Proceso de Producción.

El sistema consta de dos vías: la fosa de aguas grises (jabonosas) y la fosa de aguas negras. Como se muestra en figura 1, en ambas fosas hay un proceso de biodegradación de la biomasa que arrastran las aguas. En la primera, la biodegradación es aeróbica gracias a la

acción del aire, lirios acuáticos y del sol; en la fosa de aguas negras hay un proceso de biodegradación anaeróbica debido a la acción de sus bacterias correspondientes. Ambas fosas se construyen de ferrocemento², lo más cerca a las instalaciones de uso y consumo del agua, de esa manera disminuye el costo de tubería y mangueras de las líneas de distribución del agua y de los drenajes.

Figura 1: El Sistema Unitario de Tratamiento, Nutrientes y Energía.



Fuente: Elaboración de Calzada 2011 con base a la información del M.C. Jesús Arias Chávez/Xochicalli A.C.

El Filtro biofísico sirve para optimizar el proceso biodegradatorio de las aguas de desecho, se vincula un filtro biofísico, el cual consta de 2 o 3 canales impermeabilizados donde se bloque toda la posibilidad de filtraciones. Estos canales de abajo hacia arriba se cubren con capas de piedra bola, gravilla, grava y arena exterior se extiende una capa de tierra vegetal y en ella se siembran hortalizas y flores. Este filtro biofísico viene a constituirse en un valioso cultivo hidropónico.

La Fosa recolectora es un sistema que se complementa con un depósito de ferrocemento donde se van acumulando las aguas enriquecidas que no fueron asimiladas por las plantas de hortaliza o el cultivo de flores.

² El ferrocemento es un material de construcción compuesto, de poco espesor, flexible, en la que un gran número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal.

Cabe destacar que el funcionamiento de la técnica será más eficiente si se usa en las actividades diarias en el lavado y en el baño, jabón de barra en lugar de detergente en polvo.

- Material y Herramientas

El material y herramientas que se requiere para un SUTRANE de siete personas es aproximadamente el siguiente: arena, grava, granzón, piedra, malla gallinera, alambrón, cemento y electromalla. La cantidad va a estar en función a las distancia del agua residual al área de tratamiento. En caso de querer de desear reusar el agua se puede requerir una bomba de agua para rebombarla, esto ya es opcional para cada uno de los responsables de cada vivienda.

- Mano de obra

Para la construcción de la obra civil que requiere el SUTRANE, según lo expuesto en el croquis de arriba, a obra civil no es compleja, sin embargo, es necesario tomar algunas especificaciones para la efectividad del Sistema, para ello se requiere lo siguiente: primero se necesita de una persona que tenga conocimientos básicos de la construcción, que en esta caso los mismos propietarios de las viviendas la poseen. Y dos, la capacitación de algún integrante de las fundaciones señaladas arriba, para este último se requiere la participación de algún integrante de las fundaciones señaladas anteriormente.

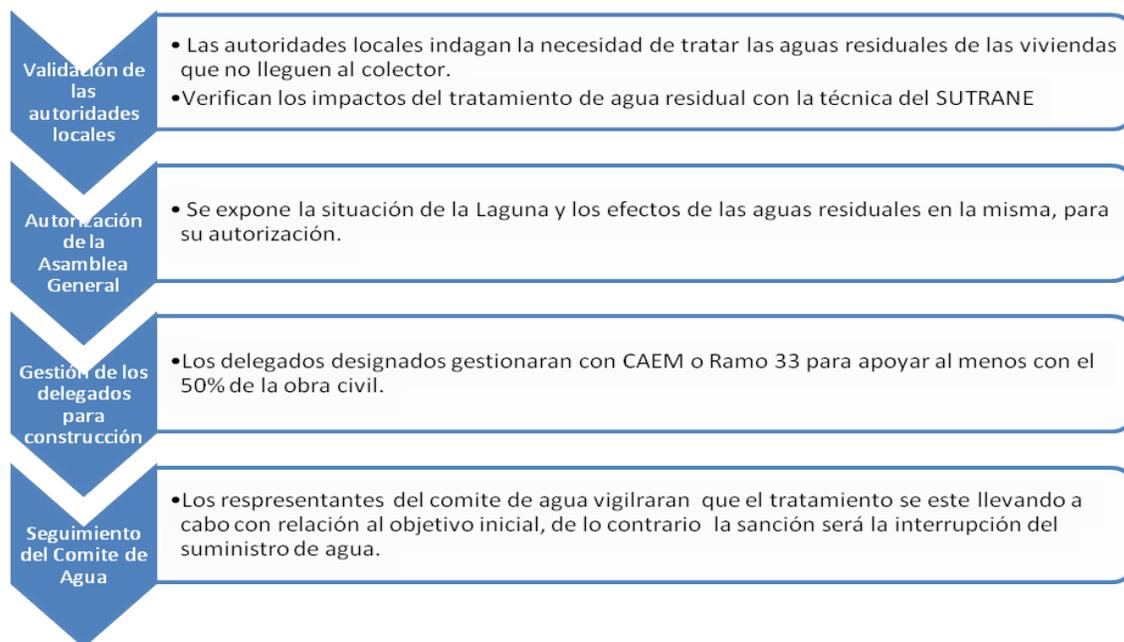
c) Estudio de Organización

Considerando la estructura de la comunidad, se convino con los delegados, representantes de Bienes Comunales y del Comité de agua, que la estrategia para sensibilizar a los responsables de las viviendas sería, construir un SUTRANE en una de las siete viviendas aledañas, para que de esa manera, los usuarios interactuaran con la técnica de tratamiento de aguas residuales, lo cual darse cuenta de su operación y de sus beneficios se convenzan y adopten la técnica.

Para aquellos viviendas que en un futuro deseen ubicarse alrededor de la Laguna, será un obligación adaptar la técnica de tratamientos de aguas residuales, se les sugiera el SUTRANE, al menos que utilicen otra que mejore a dicha técnica.

El procedimiento para institucionalizar el tratamiento de agua residual en la localidad será el que se muestra en figura 2 siguiente: los funcionarios del gobierno de Almaya avalan la necesidad de dar tratamiento a el agua residual de las viviendas cercanas a la Laguna, conocen y verifican los beneficios de la técnica SUTRANE; las autoridades locales tendrán que canalizar a la reunión de la Asamblea General más próxima, para su autorización se procederá a gestionar la capacitación, material necesario y mano de obra para su instalación de la técnica.

Figura 2. Pasos para la institucionalización el tratamiento de agua residual doméstica en San Miguel Almaya.



- Control y seguimiento del proyecto:

El comité de agua será el órgano encargado de supervisar a las viviendas que lleven a cabo el tratamiento de agua conforme lo acordado, asimismo éste llevara informe a los delegados, quienes se encargaran de dictaminar la continuidad o no del suministro de agua, continuara en caso de llevar el tratamiento y de lo contrario se le interrumpirá, hasta que reactive el tratamiento.

d) Estudio Financiero

Dado que es un proyecto social, los beneficios no son de carácter financiero, sino ambiental y social. El costo de inversión a precios de 2011 es el siguiente: material y herramientas de \$ 17,200.00, mano de obra de \$ 3,500.00 y capacitación de \$2,000.00 cuyas posibles fuentes de financiamiento serán, Ramo 33, responsable de vivienda y alguna de las fundaciones citadas anteriormente en conjunto con investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de México, respectivamente.

e) Evaluación Social y Ambiental

e.1) Evaluación Social

- Sin Proyecto:

- Contribuye al alza del costo de limpieza de la Laguna
- Desestimula la generación de otros proyectos entorno al fomento turístico de la Laguna
- Fomento el desorden en asentamientos humanos

- Con Proyecto

- Disminuye el costo de la limpieza de la Laguna
- Disminución en la contaminación de la Laguna

- Contribuye un paisaje para promover la generación de otros proyectos.
- Fomenta la participación de la población en el desarrollo de la comunidad

e.2) Evaluación Ambiental

- Situación sin Proyecto:

- Contribución a la contaminación del agua (Eutrofización)
- Contribución al desequilibrio de la flora y fauna local
- Dispersión en la cultura ambiental del agua de la población de la localidad.

- Situación con Proyecto:

Ventajas

- Evitar contaminar con 120 litros diaria por vivienda, aproximadamente 800 litros por las seis casas.
- Recuperación de cursos naturales al evitar el desalojo de agua contaminada
- Reuso de agua para áreas verdes.
- Si se reusa, se genera una disminución de costos de energía al comité de agua;
- Fortalecer la vulnerabilidad de la zona
- Contribución a la salud
- Fomento de la educación ambiental
- Estimulo a la producción de plantas

Desventajas

- Vigilar el funcionamiento del SUTRANE
- Quitar la nata de grasa dos veces al año.

Conclusiones

El enfoque del Desarrollo Local Sustentable es un instrumento teórico que permite estudiar el tratamiento de agua residual doméstico bajo principios de participación de los agentes locales en el cuidado de sus recursos naturales, como un medio esencial para que las medidas sean adecuadas a su contexto, se apropien de ellas y sean factibles de contribuir al desarrollo.

La investigación a nivel local, es decir, considerando la interacción de los agentes locales y considerando su contexto sufre vaivenes no controlables por el investigador, sin embargo, es un medio para identificar el comportamiento de los fenómenos desde su visión holística en donde actúan factores económicos, socioculturales, políticos-administrativos, biofísicos y tecnológicos.

Desde el punto de vista político-administrativo, los gobiernos federal y estatal han considerado el tratamiento de aguas residuales mediante medidas correctivas convencionales propias para asentamientos concentrados, las cuales generan otros costos ambientales. Sin embargo, parece que no se ha dado mucha importancia la situación de asentamientos dispersos.

También se han generado tecnologías alternativas que en esencia también limpian el agua de los compuestos orgánicos biodegradables a partir del manejo de microorganismos, pero *in situ*, en el mismo lugar donde se generan y a escala reducida, con posibilidad de su reuso inmediato, para ofrecer cierto nivel de autosuficiencia, en condiciones que limitan el

uso de sustancias químicas, las cuales pueden ser nocivas para el sistema microbiano, lo cual implica una cultura distinta en el uso del agua.

Con base a lo descrito de las tres técnicas alternativas e identificando las características sociales, culturales, económicas, tecnológicas y biofísicas se ha determinado que la técnica adecuada para el caso de estudio es el sistema SUTRANE, pues la situación del caso de estudio indica que es una técnica no compleja, no requiere de grandes inversiones además las viviendas se encuentran asiladas y algunas de ellas no cuentan con grandes extensiones.

Bibliografía

- Alvarado Granados Alejandro R. (coord.), 2012: *Experiencia en el Tratamiento de aguas residuales en el Estado de México*. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Boffil, Sinai y otros, 2009: “**Desarrollo local Sostenible a partir del Manejo Integrado en el Parque Nacional Caguanes de Yaguajay**” en revista **Desarrollo Local Sostenible**, Cuba: www.eumed.net/rev/delos/04/
- Lara, J, 1999: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Universidad politécnica del Cataluña. 122 p. Disponible en: www.geocities.com/ialarab.
- Llagas W, Gómez E. 2006: *Diseño de humedales artificiales par para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones.17: 12 p.
- Mara, 1976: Anexo IX. *Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen*.
- Muñoz Galo, 2008:<http://ecoportal.net>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2007: *Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México*, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México.
- García T, Rodríguez M, 2005: Diseño construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. Revista de ingenierías. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá. 11 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/760>.
- CONAGUA, 2008: *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Gobierno Federal, México.
- CONAGUA, 2009: *Situación del Subsector Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Gobierno Federal, México.
- Secretaria del Medio Ambiente, 2010: *Plan Maestro para la Restauración Ambiental de la Cuenca Alta del Río Lerma*. Diagnóstico Ecosistémico en el lenguaje ciudadano. Gobierno del Estado de México/Universidad de Chapingo, México–
- Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), 2007: *Prontuario de Información Hidráulica del Estado de México*, Secretaría del Agua, Gobierno del Estado de México
- www.conagua.gob.mx
- www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelValledeMexico