



**PROPUESTA TEORICA PARA LA DESEUTROFICACIÓN DE
LA CIENAGA SAN SILVESTRE**

**MABEL ROCÍO DÍAZ PINEDA
GUILLERMO RUEDA RUEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006**



**PROPUESTA TEORICA PARA LA DESEUTROFICACIÓN DE
LA CIENAGA SAN SILVESTRE**

**MABEL ROCÍO DÍAZ PINEDA
GUILLERMO RUEDA RUEDA**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental.**

Director

**Ing. Químico ALIRIO REY JIMENEZ
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006**

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-----------|
| INTRODUCCION | 11 |
| 1. CONCEPTOS GENERALES | 14 |
| 1.1 EUTROFICACION | 20 |
| 1.1.1 Factores que afectan el grado de eutroficación | 20 |
| 1.1.2 Causas de la eutrofication | 21 |
| 1.2 ORDEN DE MAGNITUD | 21 |
| 1.2.1 Orden de Magnitud Uno | 21 |
| 1.2.2 Orden de Magnitud dos | 22 |
| 1.2.3 Orden de Magnitud tres | 23 |
| 1.3. FATCORES AMBIENTALES | 24 |
| 1.3.1 Patrón del Caudal | 25 |
| 1.3.2 Entrada de sedimentos y de materia orgánica | 26 |
| 1.3.3 Características de temperatura y luz | 26 |
| 1.3.4 Condiciones químicas y nutricionales | 27 |
| 1.3.5 El ensamble de Plantas y animales | 27 |
| 1.4 RECOMENDACIONES DE MANEJO DEL AGUA | 29 |
| 2. METODO PROPUESTO | 32 |
| 3. ANALISIS DE LA PROPUESTA | 41 |
| 4. CONCLUSIONES | 48 |
| 5. RECOMENDACIONES | 51 |
| BIBLIOGRAFIA | 53 |
| ANEXOS | 55 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-----------|
| TABLA N. 01 Determinación de NSFI de los tributarios de la Ciénaga | 42 |
| TABLA N. 02 Determinación de las cargas afluentes quebrada el Zarzal | 43 |

INDICE DE GRAFICAS

| | Pág. |
|----------------------|-------------|
| Gráfica No. 1 | 46 |
| Gráfica No. 2 | 47 |

Resumen

TITULO * : PROPUESTA TEORICA PARA LA DESEUTROFICACIÓN DE LA CIENAGA SAN SILVESTRE

AUTORES : MABEL ROCIO DIAZ PINEDA **
GUILLERMO RUEDA RUEDA

PALABRAS CLAVES : Eutroficación , ecosistema , ciénaga , humedal , sedimentos , biomasa, sifón.

DESCRIPCION : Este documento presenta de manera resumida el proceso de deterioro ambiental que desde hace unos 25 años viene sufriendo la Ciénaga San Silvestre por la construcción de una represa que le impide realizar de manera natural su ciclo de limpieza y sugiere una solución sencilla mediante la aplicación de los principios físicos que rigen el trabajo del trasvase que se puede realizar por medio de un sifón para retirar de manera continua y controlada el material que se ha ido depositando en el fondo de la misma, con lo cual se puede corregir los problemas que está generando su eutrofización , y así evitar que en un futuro muy cercano se convierta en una laguna de fermentación aeróbica afectando seriamente la vida de la fauna y flora que allí se desarrolla.

* Monografía

**Escuela de Ingeniería Química
Especialización en Ingeniería Ambiental
Director , Ingeniero Químico Alirio Rey Jiménez

Summary

TITLE * : THEORETICAL PROPOSAL FOR THE DESEUTROFIZACION OF THE SAN SILVESTRE MARSH

AUTHORS : MABEL ROCIO DIAZ PINEDA **
GUILLERMO RUEDA RUEDA

KEY WORDS : Eutrofizacion , ecosystem , marsh , wetlands, silts , biomass, siphon.

DESCRIPTION : This document presents in an abstract may the process of environmental damage which the San Silvestre Lake has been suffering since 25 years ago, because of the construction of the wall. This wall does not permit the San Silvestre marsh to go through its natural cleaning process, so that, this document suggest a simple solution in which the application of the physical principals leads the flow by siphon works. That work can be made through a siphon in order to continuously remove the material which has been deposited at the bottom of the lake, along with the process above the problem because of the waste matter can be fixed , and this way to avoid that in a very near future she becomes a lagoon of fermentation aerobic affecting the life of the fauna and flora seriously that there is developed.

* Monograph

** Chemical Engineering Faculty
Enviromental Engineering Specialization
Director , Engineer Alirio Rey Jiménez

GLOSARIO DE TERMINOS

Antropogénico : son aquellos efectos producidos por las actividades humanas.

Biomasa : masa biológica , cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre , o por organismos de un tipo específico.

Biótico : término para denominar todo lo viviente . Una asociación biótica comprende las plantas y los animales presentes en un área determinada.

Ciénaga : depresión terrestre llena de agua, con flujo permanente de entrada y salida de agua. Area confinada llena de lodos y palos (no se usa en este sentido en esta monografía)

Ecosistema : sistema dinámico , relativamente autónomo formado por una comunidad y su medio ambiente físico.

Escorrentía : conjunto de las aguas que se desplazan por la superficie terrestre gracias a la fuerza de gravedad . Las aguas que circulan en la escorrentía provienen de la lluvia , granizo o nieve.

Eutroficación o eutrofización : enriquecimiento de lagos , embalses , ríos , y mares litorales por nutrientes vegetales , antes escasos, con el consiguiente aumento de la masa de vida vegetal acuática que el enriquecimiento permite mantener.

Fermentación aeróbica : describen las reacciones que proveen de energía y mediante las cuales algunos compuestos orgánicos actúan como aceptores finales de electrones . Estos materiales orgánicos son derivados del substrato que fue oxidado previamente.

Fermentación anaeróbica : reacciones que suministran energía , en las cuales el sulfato y el nitrato reemplazan el oxígeno.

Hábitat : sitio físico donde vive un organismo vivo (animal o planta) , a menudo caracterizado por una forma vegetal o por una peculiaridad física dominante .

Humedal : según la conservación Ramsar (ratificada en Colombia por la Ley 357 de 1997) se entiende por humedales “ aquellas extensiones de marismas , pantanos , tuberas , o aguas de régimen natural o artificial permanentes o temporales , estancadas o corrientes dulces , salobres o saladas , incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no excede de 6 mts.

Reservorio: embalse donde se almacena agua para su posterior utilización

Sedimento : detrito rocoso resultante de la erosión , que es depositado cuando disminuye la energía del fluido que lo transporta.

Sifón : en física se llama sifón a un tubo lleno de líquido , curvado en forma de “ U ” invertida , con las ramas desiguales en el que se produce una corriente a causa de la diferencia del peso del líquido que ocupa ambas ramas.

INTRODUCCIÓN.

El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico de todas las sociedades del mundo, pero en el momento en el que la sociedad extrae grandes cantidades de agua de los ríos, los lagos, los humedales y todos los reservorios naturales de agua para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria, pasa por alto los beneficios, igualmente vitales, de mantener el agua en su curso natural conservando sus ecosistemas saludables. En los últimos años hay un reconocimiento creciente de que los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos y biológicamente complejos proveen muchas materias primas de valor económico y muchos servicios a la comunidad. Estos servicios incluyen control de las inundaciones, transporte, recreación, purificación de residuos industriales y de desechos humanos, hábitat para plantas y animales, producción de peces y bienes de mercado, de vital importancia para las poblaciones en general.

A largo plazo, los ecosistemas intactos tienen más probabilidad de conservar la capacidad adaptativa para mantener la producción de esos bienes y servicios, de cara a las alteraciones ambientales futuras, tales como los cambios de clima, entre otros. Teniendo en cuenta que los beneficios que brindan los ecosistemas de agua dulce son de altos costos y generalmente imposibles de reemplazar cuando estos sistemas están degradados, los gobiernos departamentales o municipales deberían incluir en sus planes de gobierno, previsiones para mantener la integridad de estos ecosistemas de agua dulce.

Lejos de ser cuerpos aislados o simples conductos o reservorios, los ecosistemas de agua dulce están íntimamente ligados a la cuenca o a la zona de influencia de

las que forman parte, y están muy influenciados por los usos y las modificaciones que hace el ser humano tanto del terreno, como del agua; por este motivo se deben tener presentes algunos factores importantes para evitar que un sistema acuático de agua dulce se contamine y se convierta en un sistema de fermentación aeróbica y/o anaeróbica generando serios impactos, no solo a la población acuática que en ella vive, sino a la comunidad que depende de ella para su subsistencia. Tales factores son:

- Mantener el caudal y las direccionalidades o sentidos de flujo del cuerpo de agua dentro del rango natural de variación para promover la integridad y sustentabilidad de dichos ecosistemas.
- Los ecosistemas acuáticos requieren, además, que los sedimentos y las líneas de costas, las propiedades de calor y luz, la entrada de sustancias químicas y nutrientes y las poblaciones de plantas y animales fluctúen dentro de los rangos naturales, sin experimentar excesivas oscilaciones, ni ser mantenidos a niveles constantes, es decir la *entrada de sedimentos y de materia orgánica* proporciona la materia prima que crea la estructura física del hábitat, los refugios, los sustratos y los sitios de desove, provee y almacena los nutrientes que sustentan a las plantas y a los animales acuáticos.
- Las características de *temperatura y luz* regulan los procesos metabólicos, los niveles de actividad y la productividad de los organismos acuáticos.
- Las *condiciones químicas y nutricionales* regulan el pH, la productividad de plantas y animales y la calidad del agua.
- El *ensamble de plantas y animales* influye en las tasas de los procesos del ecosistema y en la estructura de la comunidad.

En un ecosistema de agua dulce que funcione naturalmente, estos factores varían a lo largo del año según los cambios estacionales (para nuestro caso según si se está en época de lluvias o se está en ausencia de ellas). Es por lo anterior y teniendo en cuenta que la Ciénaga San Silvestre es un reservorio natural de agua dulce, ubicado a solo 10 minutos de la ciudad de Barrancabermeja y que

actualmente por las actividades humanas que en ella se realizaron y se realizan, está siendo objeto de un proceso continuo y delicado de eutrofización y deterioro, se desarrollará en este proyecto una propuesta teórica que permita dar solución o mitigue los efectos ambientales adversos para el ecosistema en mención.

1 CONCEPTOS GENERALES

La Ciénaga San Silvestre es un reservorio natural de agua dulce ubicado en cercanías de la ciudad de Barrancabermeja que tiene una gran importancia ambiental y es fundamental para el sostenimiento de los pobladores de la región y a su vez se ha convertido en la fuente de suministro de agua a una población cercana a los 500.000 habitantes. Debido al uso de ella y a la realización de algunas obras civiles, su ciclo natural ha sido afectado generando serio deterioro ambiental, especialmente, porque se ha catalizado un proceso continuo y delicado de eutrofización, impactando de manera significativa este ecosistema.

A esta ciénaga llega la Subcuenca del Caño San Silvestre, es una de las Subcuencas más importantes localizadas dentro del municipio de Barrancabermeja, se localiza hacia la parte central, es una cuenca achatada, con pendientes bajas hacia su desembocadura y altas hacia sus cabecera, esta conformada por las micro cuencas de Llanitos, El Zarzal, Peroles y Vizcaína, comprende una extensión aproximada de 972 Km² y una pendiente media de 6.92 m/Km.

Este ecosistema funcionó desde tiempos remotos como un importante humedal del Río Magdalena, sirviendo de sitio de desove de las especies acuáticas, con lo cual se lograba, de manera natural mantener un equilibrio biótico de las diferentes especies que poblaban parte de la cuenca del río mencionado, siendo útil para los moradores de la región.

Barrancabermeja, como importante población ribereña, asiento de la mayor empresa petrolera del país, fue hasta mediados de los años sesenta del siglo pasado, solo generadora de grandes utilidades económicas para la sociedad colombiana y mantuvo un pobre desarrollo en todos los aspectos claves de una sociedad moderna. No existió, en el ámbito nacional y regional, el menor interés

en propiciar su desarrollo y las escasas acciones tendientes a mejorar la calidad de vida de sus moradores se limitaron a acciones extremadamente corto placistas y principalmente de carácter elitista.

La evolución de la industria petrolera impuso el desarrollo de la petroquímica, lo cual atrajo a personas de diferente índole, en general ávidos y necesitados de riqueza, quienes empezaron a multiplicar las necesidades de ese, hasta entonces, reducido conglomerado social. Se requirió de nuevas y mejores viviendas que remplazaran los “antiguos veinte cuartos”, y se pavimentaron las primeras vías urbanas. Este modesto, pero trascendental desarrollo urbano generó la incapacidad de su acueducto de abastecer a la cada día más creciente población.

La torpeza, en unos casos y la poca identidad con el medio, en otros casos, de su dirigencia, impusieron el desarrollo de proyectos para frenar el descontento reinante que ya estaba tornándose en movimientos reivindicatorios perturbadores de la paz que siempre caracterizó a esta región. El facilismo y otras razones, acerca de las cuales se evita comentar en este estudio, mostraron la sustitución del acueducto de la época que procesaba agua del río Magdalena, por otro que tendría como materia prima la ciénega de San Silvestre. Tremendo absurdo.

No demoró mucho tiempo la naturaleza en pasar su cuenta de cobro por este absurdo y lo que se planteó como una “trascendental solución” quedó mostrado que estaba generando un delicado problema ambiental.

Nuevamente, la clase dirigente, con el respaldo de profesionales de dudosa integridad ética, decide impedirle a este reservorio su ciclo vital natural, con lo cual se inicia una lenta agonía que 25 años después empieza a mostrar sus consecuencias. Su tamaño es el principal factor que oculta durante algunos años las consecuencias que está generando la construcción de una represa, o muro que impide el intercambio de aguas, de flora y fauna con el río Magdalena a través del caño que les servía de comunicación

Dar una pronta solución a este problema es necesario, debido a que este ecosistema está muriendo lentamente y con el tiempo se convertirá en una laguna de fermentación aeróbica generando serios impactos que afectarán la vida en sus alrededores. Se requiere que la solución sea económica para que motive a la clase política y dirigente de la ciudad de Barrancabermeja a realizar su implementación, porque ya se han presentado alternativas que no se han ejecutado por considerar que requieren una alta inversión en dinero sin generar beneficios tangibles a los dirigentes de turno. Algunas de ellas han producido mayor afectación.

Elaborar una propuesta que permita desarrollar un proceso viable, teóricamente, tendiente a dar solución o mitigar los efectos ambientales adversos para el ecosistema de la Ciénaga de San Silvestre, es el objetivo general de este estudio, lo cual comprende realizar recopilación bibliográfica acerca de los procesos de eutroficación y de los estudios realizados al ecosistema en estudio, para concretar la evolución del problema y definir el fundamento científico de la propuesta, elaborar la propuesta del proceso para proponer su posible ejecución, elaborar la disquisición teórica sobre la propuesta para estudiar sus posibles ventajas y desventajas y finalmente elaborar un documento resumen sobre lo realizado para motivar a entes gubernamentales y organizaciones no gubernamentales a su realización.

Las realizaciones y estado actual de esta temática se concreta en dos aspectos fundamentales que son **de una parte** las realizaciones teóricas y prácticas de los estudiosos del tema de la eutroficación y en general de los ambientalistas, debido a la trascendencia del tema, toda vez que su consecuencia final es de decidida gravedad sobre los seres vivos, acerca de lo cual existe abundante bibliografía y parte de ella, se referencia en este estudio. **De otra parte**, existen estudios realizados por diferentes entes gubernamentales y no, municipales y no, que entienden o sufren la problemática de este ecosistema. Esta parte es fundamental

para la realización de este estudio. Es conveniente precisar que en torno de ello existen múltiples intereses políticos y personales que generan dificultades en la consecución de la información. La conciencia de ello y la trascendencia del tema, motiva al esfuerzo por lograrlo. En la oficina de Planeación Municipal de Barrancabermeja existen varios documentos de estudios realizados en diferentes épocas sobre esta problemática, que son motivo de consulta. Así mismo en las oficinas de la CAS se encuentra material valioso con referencia al estudio en mención. Citamos, a manera de ejemplo en la bibliografía, algunas direcciones de Internet donde es fácil conseguir documentación al respecto y de soluciones a ecosistemas similares a éste.

La contaminación y, en particular, la eutroficación de los cuerpos acuáticos a causa de poluentes de origen humano y natural son generadores de serios problemas para los reservorios naturales que se utilicen para el abastecimiento de agua en general y en particular de agua potable en cualquier parte del mundo.

La Eutroficación es un proceso de enriquecimiento nutriente y el subsiguiente incremento en productividad en el cuerpo acuático. Los nutrientes catalizadores de este fenómeno son generalmente nitrógeno y fósforo, que son los principales reguladores del crecimiento y reproducción vegetal.

Las manifestaciones más comunes de la Eutroficación se sintetizan en:

- Incrementos acelerados y significativos de concentraciones de nutrientes resultando en un acelerado incremento del crecimiento de fitoplancton, lo cual debe evitarse por múltiples varias razones. Por ejemplo la producción de toxinas, de especial riesgo para humanos y animales. Otros problemas incluyen el desagradable sabor y olor en el agua potable, además de que las floculas por agrupación de algas son visualmente repulsivas y tapan los sistemas de conducción.
- La desoxigenación del limo, fundamentalmente precipitable, que resulta del decaimiento de la biomasa producida por el crecimiento bacteriano y particularmente de las algas durante la estratificación estacional. Para el caso concreto de la Ciénega San Silvestre, motivo de este estudio, esta

estratificación produce un cambio total de la direccionalidad de los flujos hídricos.

- Mortandad de peces, consecuencia de la anoxia desarrollada y generalizada al sistema. Así mismo su baja reproductividad.
- La liberación de nutrientes desde los sedimentos como resultante de los procesos bioquímicos propios del sistema y que son la resultante de la desoxigenación del mismo.
- La liberación de metales pesados como proceso complementario del proceso bioquímico que de hecho genera problemas durante el tratamiento para potabilizar las aguas, especialmente por la presencia de Manganeseo y otros como el Plomo, el Mercurio y el Cadmio de alta toxicidad para los humanos.

La eutroficación es un proceso acelerado por las actividades humanas, de manera directa o indirecta en el área de confinamiento de aguas o cuerpos acuáticos en general. Una obra civil, como es el caso del sistema en estudio, puede alterar la estabilidad natural y dar al traste con graves consecuencias para un ecosistema.

Para la realización de este trabajo se tiene el limitante de depender de la información que suministren algunos organismos gubernamentales como la Alcaldía de Barrancabermeja, la Secretaría de Planeación municipal y otras dependencias como la CDMB . El reconocimiento e inspección in situ ha sido realizado a sus expensas por los autores.

En Colombia en el año de 1998 el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt adelantó un convenio de cooperación con el Ministerio del Medio Ambiente con el fin de desarrollar unas bases científicas y técnicas para la formulación por parte de la autoridad ambiental nacional de una política nacional de humedales continentales. Se trata de un avance para aplicar los compromisos de la Convención Ramsar, acuerdo internacional dirigido a la conservación de estos ambientes. El proceso es un complemento al trabajo de política de conservación y uso sostenible de zonas costeras adelantado por este Ministerio. Según la Convención Ramsar (ratificada en Colombia por la Ley 357 de

1997), se entiende por humedales “aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. Es un conjunto muy heterogéneo de ecosistemas naturales y artificiales.

Los humedales representan atributos, productos y funciones de cuya existencia se beneficia la sociedad. Dichas funciones son: **Físicas**: regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión y estabilización micro climática. **Químicas**: regulación de ciclos de nutrientes (retención, filtración y liberación) y descomposición de biomasa terrestre como base de la productividad de los sistemas acuáticos. **Bioecológicas**: productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de dióxido de carbono; y **Sociales**: sistemas productivos y socioculturales (economías extractivas, pesca artesanal, caza, recolección, pastoreo y agricultura en épocas de estiaje), recursos hidrobiológicos y soporte de acuicultura. Algunos humedales sustentan procesos comerciales, tales como la industria del palmito, y la explotación forestal en cautívalos y guíndales. También proveen servicios de recreación, investigación científica y educación.

Los humedales son ecosistemas dinámicos, están sujetos a una amplia gama de factores naturales que determinan su modificación en el tiempo. La intervención humana actúa sobre la dinámica de estos sistemas y su efecto depende de la magnitud, intensidad y tasa de recurrencia de la perturbación, así como del estado del sistema y de su resiliencia (capacidad de retornar al estado anterior a la intervención).

1.1 EUTROFICACIÓN

Partiendo del punto que la eutrofización es un proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc.). Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, poseen concentraciones bajas de nutrientes, poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos.

1.1.1 Factores que afectan el grado de eutroficación

- **Clima:** los climas cálidos favorecen el proceso.
- **Cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal** son más propicios para el desarrollo del proceso
- **Área de drenaje:** la poca cubierta arbórea sujeta a precipitaciones abundantes favorece la erosión y el arrastre de nutrientes hacia el cuerpo de agua
- **Geología:** en áreas de drenaje donde predominan rocas sedimentarias hay mayor aporte de fósforo por escorrentía. Los suelos arcillosos drenan pobremente y también favorecen la escorrentía y consecuentemente el aporte de nutrientes.

1.1.2 Causas de la eutrofización

a) Naturales:

- aportes atmosféricos: precipitación.
- resuspensión de los sedimentos del fondo.
- liberación desde los sedimentos anóxicos.
- descomposición y excreción de organismos.
- fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) Antropogénicas:

- vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento.
- deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua.
- fertilizantes aplicados en exceso.
- aguas residuales de granjas (silos, tambos).
- tanques sépticos.
- uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo.
- aporte de contaminantes por agua de lluvia.
- sistema de alcantarillado de ciudades y pueblos

1.2 ORDEN DE MAGNITUD

Se tiene que los conflictos entre las actividades humanas y la conservación de los humedales se presentan en varios órdenes de magnitud:

1.2.1 Orden de Magnitud 1

Transformación Total: cuando hay desaparición o cambio fundamental de sus características.

Reclamación de tierras para expansión agrícola o ganadera.

Modificación completa de regímenes hidráulicos en el ámbito de las cuencas de captación (obras civiles de regulación hídrica, cambios de cobertura vegetal y carga de sedimentos), disminución de la cantidad de agua que los alimenta, cambios en su régimen, especialmente la oferta estacional o aumento de la carga de sedimentos o nutrientes en las aguas.

Introducción o transplante de especies invasoras (acuicultura y fomento pesquero equivocado).

Reclamación del espacio en zonas urbanas para infraestructura de vivienda, transporte, industrial o de recreación.

1.2.2 Orden de Magnitud 2

Perturbación Severa: cuando hay cambios en las funciones ambientales.

Control de inundaciones. Cambios en aspectos hidrológicos, alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y biológicos (construcción de obras para la contención, conducción o evacuación de aguas), obras de “protección” frente a crecientes (canales, diques), o terraplenes para carreteras.

Contaminación. Cambios severos en la calidad de las aguas (química o por carga de sólidos) lo cual desencadena cambios biológicos. Exceso de nutrientes en numerosos cuerpos de agua.

Canalizaciones. Alteraciones de los flujos superficiales de agua en humedales, cultivos de arroz, canales para la extracción de las maderas.

Urbanización. Cambio del uso de la tierra en puntos críticos como vegetación por desarrollo urbano, industrial y de infraestructura de recreación.

Remoción de sedimentos o de vegetación. Cambios en el funcionamiento hidrológico y en las comunidades de humedales para mejorar la navegación y para extraer materiales.

Sobreexplotación de recursos biológicos. Caza, pesca, recolección de nidos, extracción de materiales (artesanías) para autoconsumo (leña o materiales de construcción); práctica común en todos los complejos de humedales de las tierras bajas.

Represamiento o inundación permanente. Cambios en la estructura y en el funcionamiento de humedales por fomento piscícola (construcción de estanques) y el represamiento de los flujos de agua.

1.2.3 Orden de Magnitud 3

Perturbación Puntual. Alteraciones de los tipos anteriores, producidos en un espacio limitado dentro de un humedal.

Los ecosistemas de agua dulce difieren entre sí por el tipo, la ubicación y el clima, pero de cualquier manera comparten características importantes. Los lagos, humedales, ríos y el agua subterránea que los conecta, comparten una necesidad común de agua en un determinado rango de cantidad y calidad. Además, debido a que los ecosistemas de agua dulce son dinámicos, todos requieren de cierta variación natural o de disturbio para mantener su viabilidad. Las variaciones en las corrientes de agua de estación a estación y de año a año son necesarias, por ejemplo, para el mantenimiento de las comunidades de plantas y animales, y la dinámica natural del hábitat que garantiza la producción y la supervivencia de las especies. La variabilidad en la tasa y en la periodicidad del caudal de agua impacta fuertemente en el tamaño de las poblaciones de plantas y animales nativos y en su estructura de edades, en la presencia de especies raras o altamente especializadas, en la interacción de las especies entre sí y con el ambiente y en muchos otros procesos del ecosistema. Los patrones periódicos y episódicos del caudal de agua también influyen en la calidad del agua, en las condiciones físicas del hábitat y en las conexiones y las fuentes de energía de los ecosistemas acuáticos. Los ecosistemas de agua dulce, por lo tanto, han evolucionado al ritmo de la variabilidad hidrológica natural.

La estructura y el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce están estrechamente ligados también a las cuencas o zonas de influencia de las que forman parte. El flujo del agua a través del paisaje en su camino hacia el mar,

transcurre en tres dimensiones, uniendo la porción superior del cauce a la inferior, los cauces pequeños a las planicies de inundación y humedales ribereños, y el agua superficial al agua subterránea. Los materiales generados a través del paisaje finalmente llegan a los ríos, lagos y a otros ecosistemas de agua dulce. Por lo tanto estos ecosistemas están fuertemente influenciados por lo que pasa en la superficie terrestre, incluyendo las actividades humanas.

1.3 FACTORES AMBIENTALES

Identificando los factores ambientales dinámicos que regulan la mayor parte de la estructura y del funcionamiento de cualquier ecosistema acuático, se tiene una evaluación de las características que se requieren para el buen funcionamiento de los arroyos, ríos, humedales y lagos con una descripción de los patrones del caudal natural o histórico. Ciertos aspectos de esos patrones son críticos para la regulación de la productividad biológica (es decir el crecimiento de las algas o del fitoplancton que forman la base de las redes tróficas acuáticas) y la diversidad biológica, particularmente para los ríos. Estos aspectos incluyen el caudal basal, las inundaciones anuales o frecuentes, los eventos de inundación raros o extremos, la estacionalidad de los caudales y la variabilidad anual. Estos factores también son relevantes para evaluar la integridad de los lagos y humedales porque los patrones del caudal y el período hídrico (es decir, las fluctuaciones estacionales en los niveles del agua) influyen en los patrones de circulación del agua y en las tasas de renovación, así como en los tipos y abundancia de la vegetación acuática tales como juncos, pastos y plantas con flores. Más aún, el patrón de caudal característico de un lago, humedal o arroyo influye de varias formas entre los distintos tipos de ecosistemas acuáticos. La interacción de estos determinantes en tiempo y espacio define la naturaleza dinámica de los ecosistemas de agua dulce:

1.3.1 Patrón del caudal

Define las tasas y vías por las que la lluvia entra y circula por los cauces de los ríos, los lagos, los humedales y el agua subterránea que los conecta y también determina cuánto tiempo el agua queda almacenada en estos ecosistemas.

La variación anual de caudal es un factor importante que influye en los sistemas ribereños. Por ejemplo, la variación de un año a otro en el volumen de agua de escorrentía puede mantener una alta diversidad de especies. De modo similar, la productividad del ecosistema y la estructura de las redes tróficas pueden fluctuar en respuesta a esta variación anual. Esta variación también asegura que distintas especies se beneficien en diferentes años, promoviendo así una diversidad biológica alta. Por otro lado los movimientos naturales de sedimentos son los que acompañan las variaciones naturales de los caudales del agua. En lagos y humedales todos los flujos de entrada de sedimentos, con excepción de los más finos, se depositan permanentemente en el fondo, por lo que con el correr del tiempo esos sistemas se colmatan. Los invertebrados, las algas, las briofitas, las plantas vasculares y las bacterias que pueblan el fondo de los sistemas de agua dulce están altamente adaptados a los sedimentos y a las condiciones de materia orgánica específicas de su medio ambiente, así como lo están muchas especies de peces, y no pueden persistir frente a cambios en el tipo, tamaño o frecuencia de entrada de sedimentos. La suerte de estos organismos es crítica para sustentar los ecosistemas de agua dulce dado que ellos son responsables de la mayoría del trabajo de purificación del agua, descomposición y reciclado de nutrientes. El hombre a través de los tiempos ha alterado de modo severo las tasas naturales de entrada de sedimentos y materia orgánica a los sistemas acuáticos, aumentando algunas entradas mientras que disminuía otras. Las prácticas irracionales de agricultura indigente, tala o construcción, por ejemplo, fomentan altas tasas de erosión del suelo. En muchas regiones, los arroyos pequeños y los humedales han

sido eliminados completamente por su colmatación, por las pavimentaciones o por el redireccionamiento del agua dentro de canales artificiales.

1.3.2 Entrada de sedimentos y de materia orgánica

Proporciona la materia prima que crea la estructura física del hábitat, los refugios, los sustratos y los sitios de desove y provee y almacena los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales acuáticos.

1.3.3 Características de temperatura y luz

Regulan varios de los procesos metabólicos, los niveles de actividad y la productividad de los organismos acuáticos. Las propiedades lumínicas y calóricas de un cuerpo de agua están influidas por el clima y la topografía tanto como por las características del propio cuerpo de agua, su composición química, suspensión de sedimentos y su productividad de algas. La temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como crecimiento, maduración y la reproducción. El ciclo de temperatura influye marcadamente en plantas y animales y, por extensión, determina el lugar donde se distribuyen las especies en el sistema y cómo varía la comunidad biótica del cuerpo de agua de estación en estación. En los lagos, particularmente, la absorción de energía solar y su disipación como calor son procesos críticos en el desarrollo de gradientes de temperatura entre la superficie y las capas más profundas de agua, así como en los patrones de circulación del agua. Los patrones de circulación y los gradientes de temperatura a su vez influyen sobre los ciclos de nutrientes, sobre la distribución del oxígeno disuelto, y sobre la distribución y el comportamiento de los organismos, incluidos los de los peces preferidos por los pescadores deportivos. La temperatura del agua puede cambiar dramáticamente río abajo de una represa.

1.3.4 Condiciones químicas y nutricionales

Regulan el pH, la productividad de plantas y animales y la calidad del agua. Las condiciones nutricionales y químicas naturales son reflejo del clima local, del lecho rocoso, del suelo, del tipo de vegetación y de la topografía. Las condiciones naturales de agua pueden ir desde claras, pobres en nutrientes, en ríos y lagos sobre lechos rocosos cristalinos, hasta mucho más enriquecidas químicamente, productoras de algas en aguas de cuencas de captación con carbonato de sodio que responden también con un marcado cambio en el plancton y en las comunidades de peces.

1.3.5 El ensamble de plantas y animales

Influye en las tasas de los procesos del ecosistema y en la estructura de la comunidad. En ecosistemas de agua dulce que funcionan naturalmente, estos cinco factores varían a lo largo del año dentro de un rango definido, siguiendo los cambios estacionales en el clima y la duración del día. Las especies evolucionan y los ecosistemas se ajustan para acomodarse a estos ciclos anuales.

Las actividades humanas que alteran las condiciones ambientales del agua dulce, pueden cambiar fuertemente la identidad de las especies en la comunidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Un estrés excesivo o la simplificación de la complejidad natural tienen el potencial de empujar a los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos más allá de los límites de sustentabilidad, amenazando su habilidad para proveer bienes y servicios importantes tanto a corto como a largo plazo. Es más, la introducción de especies exóticas que pueden prosperar bajo el rango de variación ambiental reinante o del alterado, puede contribuir a la extinción de especies nativas, modificar severamente las redes tróficas y alterar los procesos ecológicos tales como el reciclado de

nutrientes. Las especies exóticas son a menudo exitosas en los ambientes modificados, de los que puede resultar difícil erradicarlas.

Pese a la magnitud de la degradación de los ecosistemas de agua dulce, existen técnicas de manejo que pueden restaurar esos sistemas hasta un estado más natural y sustentable y prevenir así la pérdida continua de biodiversidad, de funcionamiento del ecosistema y de integridad ecológica. Una de las técnicas, por ejemplo, consiste en restaurar algunas de las variaciones naturales del caudal de los cursos de agua, basada en el conocimiento de los sistemas de río que son naturalmente dinámicos. Se ha aplicado y propuesto nuevas aproximaciones estadísticas para diversos ríos para conseguir estrategias de manejo que incluyan la variabilidad de los caudales en el tiempo. Estas técnicas de modificación de caudales de agua buscan un balance entre la necesidad de descarga de agua para generación de energía o riego y las necesidades ecológicas de los cursos de agua para que la variabilidad del caudal tenga una temporalidad adecuada, una frecuencia, una duración y una tasa de cambio característica de los sistemas naturales. La restauración de esa variabilidad de caudal ayuda a reconectar la dinámica de los ríos y los sistemas de agua subterránea con las corrientes de superficie, permitiendo que el agua se mueva más naturalmente a través de todas las dimensiones espaciales, lo que es esencial para el funcionamiento completo de los ecosistemas.

Los sedimentos en los sistemas acuáticos de agua dulce almacenan contaminantes orgánicos e inorgánicos que provienen del escurrimiento industrial, urbano y agrícola, así como de la deposición atmosférica (incluyendo mercurio y PCBs). Los contaminantes de los sedimentos se acumulan en especies acuáticas, afectando la salud de peces y aves silvestres e incluso la salud de los seres humanos que comen peces contaminados.

El colapso de una pesquería y la eutrofización permanente a través de la entrada de nutrientes, son dos ejemplos de condiciones que, una vez alcanzadas, hacen

muy difícil restaurar la integridad del sistema de agua dulce. Para detectar esas tendencias antes de que los problemas se hagan críticos es necesario por un lado monitorear las condiciones físicas y biológicas del ecosistema de agua dulce y por el otro comprender la dinámica ecológica natural de esos sistemas. Por lo anterior se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones de cómo el agua debe ser considerada y manejada.

1.4 RECOMENDACIONES DE MANEJO DEL AGUA

Incorporar las necesidades de los ecosistemas de agua dulce (particularmente la de tener patrones de variación de caudal naturales) en las políticas nacionales y regionales de manejo del agua, junto con la preocupación sobre la calidad y cantidad del agua. Debido a que la mayoría de las decisiones sobre el uso de la tierra y el agua se realizan localmente, se recomienda facultar a los grupos y comunidades locales para que implementen políticas de uso sustentable del agua.

- Definir los recursos de agua incluyendo las cuencas de modo que el agua dulce sea vista dentro del contexto de un sistema o paisaje. Muchos de los problemas relacionados con los ecosistemas de agua dulce provienen de afuera de los ríos, los lagos y los humedales en sí mismos. Las leyes y las regulaciones se han quedado atrás en el reconocimiento de este hecho.

- Aumentar la comunicación y la educación entre disciplinas. El entrenamiento y la experiencia interdisciplinaria, particularmente para ingenieros, hidrólogos, economistas y ecólogos, puede originar una nueva generación de administradores de agua y usuarios que piensen en el agua dulce como un sistema con propósitos ecológicos, junto con las funciones de suministrar agua.

- Aumentar los esfuerzos de restauración de los humedales, los lagos y los ríos usando los principios ecológicos como guías.

- Mantener y proteger los ecosistemas de agua dulce mínimamente deteriorados.

-Traer el concepto de ecosistema a casa. Lograr la sustentabilidad ecológica requiere que lleguemos a reconocer la interdependencia de las personas con el ambiente del que forman parte. Para el agua dulce, eso requiere un reconocimiento amplio de las fuentes y los usos del agua para las necesidades de la sociedad, y las ecológicas. También va a requerir una visión a más largo plazo de los procesos relacionados con el agua. Los sistemas de reparto de agua, e incluso los diques, se diseñaron con una proyección temporal de décadas, o a lo sumo una centuria al igual que las recomendaciones de manejo. Los ecosistemas de agua dulce evolucionaron por eras, y su sustentabilidad debe ser considerada desde una perspectiva a largo plazo. Las políticas de gobierno, los medios masivos y la economía de mercado se focalizan en los beneficios a corto plazo. Los programas educativos desde los jardines maternos hasta el colegio secundario, las iniciativas individuales para estar informado y los esfuerzos de las comunidades locales de las cuencas interesadas en proteger sus recursos naturales pueden proporcionar los primeros pasos correctos hacia una responsabilidad permanente. Esos pasos deben estar acompañados por el reconocimiento estatal y nacional de que las necesidades humanas fundamentales de agua, futuras, sólo se podrán satisfacer a través de políticas que preserven hoy la integridad y el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce.

- En conclusión, los ecosistemas de agua dulce han sido descritos como “un capital ecológico (que es) desproporcionadamente rico y (que está) desproporcionadamente en peligro”. Necesitan no estar tan amenazados. A través del reconocimiento de que los caudales de agua y sedimentos necesitan variar

naturalmente y de que las cargas de contaminantes se deben reducir; podemos mantener o restaurar los ecosistemas de agua dulce a un estado sustentable de modo que continúen proporcionando las comodidades y los servicios que la sociedad espera y al mismo tiempo ayudando a las especies acuáticas nativas a prosperar.

2 MÉTODO PROPUESTO.

La deseutroficación de un sistema se puede lograr por diversos métodos, pero debe tenerse en cuenta que estos procesos pueden generar perturbaciones transitorias en el sistema al cual se apliquen. Por ejemplo, uno de estos métodos puede ser la aplicación de un sistema de dragado, de amplio uso en sistemas como ríos, donde se tiene una corriente permanente de agua que arrastra de manera continua el material que permanece en suspensión. Es un método, costoso y rápido, no recomendable para el caso de la Ciénaga de San Silvestre, especialmente porque los sólidos en suspensión generados demoran en precipitarse, lo cual perturba notoriamente la operación de la planta de tratamiento de agua de la ciudad, toda vez que los sólidos generados son fundamentalmente de naturaleza orgánica, y a todo el ecosistema dependiente de este reservorio.

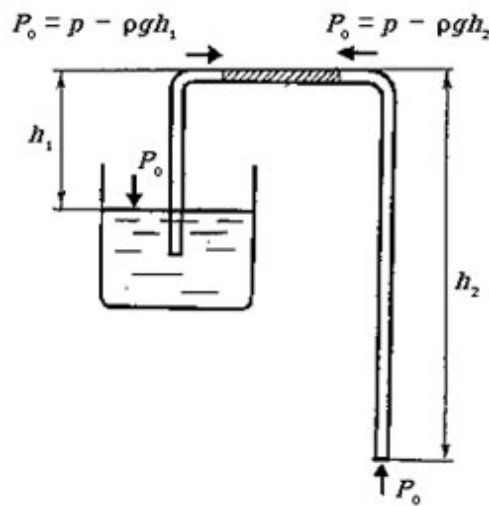
Los demás sistemas mecánicos son de características similares y por lo mismo no recomendables.

El uso de productos químicos no está demostrado para la corrección de estos inconvenientes en los sistemas hídricos. Una posibilidad es el uso de oxígeno, mediante el empleo de corrientes de aire produciendo burbujeo desde el fondo, con unas velocidades y volúmenes controlados, que producen el efecto de favorecer una transformación biológica aeróbica, en un sistema fundamentalmente anaeróbico. Es parcialmente benéfico y si se realiza a bajas velocidades, la generación de material sólido suspendido puede no afectar el sistema, pero presenta varias desventajas y no se recomienda utilizarlo solo. De una parte su efecto es demorado, requiere de vigilancia permanente y un sofisticado sistema de control, lo cual lo hace muy costoso. Adicionalmente, la remoción de las partículas en suspensión no se logra y por consiguiente parte del problema persiste.

Nuestra propuesta consiste en montar un sistema hidráulico, por medio de sifón, de tal manera que no permita el reboce libre en la represa, para utilizar como fuerza motriz, el agua sobrante que sale de la ciénaga. Con esta característica, en época de lluvias su trabajo es mayor y se minimiza en épocas de no lluvias.

El principio teórico en que se basa nuestra propuesta está plenamente demostrado en la práctica y puede sintetizarse como lo indica la figura 1 , así:

FIGURA 1



En Física se llama sifón a un tubo lleno de líquido, curvado en forma de "U" invertida con las ramas desiguales, en el que se produce una corriente a causa de la diferencia del peso del líquido que ocupa ambas ramas, según se muestra en la gráfica. La presión en A será la atmosférica "P" menos la originada por el peso de la columna líquida "a"; la presión en B será asimismo "P" menos la originada por el peso de la columna líquida "b", y se dará que $P_a > P_b$.

Si se ha provocado una depresión inicial en el tubo, y el extremo corto está introducido en un recipiente con líquido, se producirá el referido movimiento de A

hacia B, continuando dicho movimiento hasta que por el extremo del ramal corto entra aire.

Cualquier ventilación o agujero practicado en el conducto que pusiera la vena líquida en contacto con la atmósfera, detendría el funcionamiento del sifón o "sifonado".

Cabe ahora preguntar a qué diferencial de altura puede operar este sifón. El caso es similar al de una bomba de aspiración manual, porque su trabajo se fundamenta en el uso de la presión atmosférica del lugar y la diferencia de brazos en los tubos de succión y de descarga.

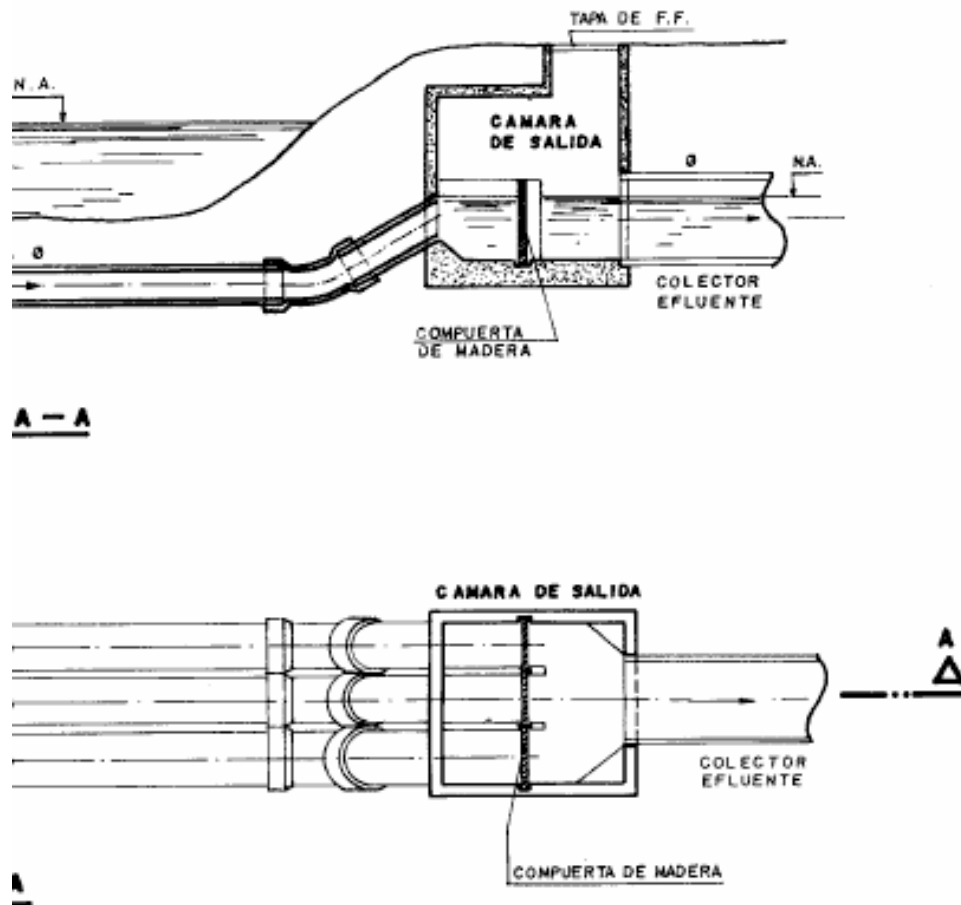
La mayoría de los libros de texto afirman que es posible elevar agua mediante un sifón a una altura no mayor de 13,6 m sobre su nivel fuera del recipiente. Pero no se dice que esto es una magnitud teórica que depende de la presión atmosférica del sitio, debido a que ella influencia la presión parcial del vapor. En realidad, la máxima diferencia posible con respecto al nivel del estanque está relacionada con la mencionada presión atmosférica del sitio, porque cuando la altura es tal que la columna genera una presión mayor que esta, el líquido, en este caso agua, se evapora y por consiguiente se suspende la acción de trasvase. Además, hay que tener en cuenta que en condiciones normales el agua contiene aire disuelto (un 2 % de su volumen). Este aire se desprende formando un espacio vacío que va ocupando el tubo. Realmente no es espacio vacío, sino lleno de aire modificando la presión y perdiéndose la dinámica del sistema, creando cierta presión e impidiendo de esa manera que el agua suba a la altura teórica de 13,6 m. Por lo general, dicha magnitud suele ser 3 metros menor, por lo que estos sistemas nunca elevan agua a una altura mayor de 10 metros. En la práctica, el sifón tiene casi la misma altura límite cuando se emplea para transportar agua por encima de presas o colinas.

Como complemento a lo anterior, está el problema de la velocidad de salida del fluido. E. Torricelli sabía que la velocidad de salida no depende de ninguna manera de la densidad del líquido y se determina utilizando la fórmula de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gh}$$

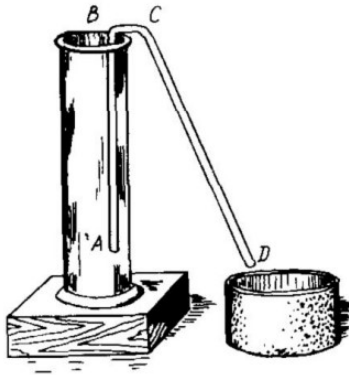
donde v es la velocidad de salida del líquido, g , la aceleración de la gravedad y h , la altura del nivel de líquido contenido en el recipiente. Según vemos, en la fórmula no interviene la densidad del líquido. Este principio paradójico de salida del líquido se comprende fácilmente si se considera que la fuerza que impele el líquido, es creada por la parte de éste, situada a un nivel más alto que el orificio de salida. Si el líquido es pesado, esta fuerza es mayor que en el caso del líquido ligero; pero la masa que se pone en movimiento en el primer caso es mayor, por cierto, en la misma proporción. No es de extrañar, pues, que la aceleración y, por consiguiente, la velocidad, son idénticas cualquiera sea el fluido y por lo tanto no se requiere determinar la densidad del fluido, aspecto importante en esta aplicación porque las variables de este proceso son en realidad constantes en el tiempo. Lo anterior se puede visualizar en la figura 2

FIGURA 2



Modelo de trasvase. Tomado de Internet.

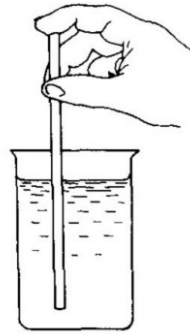
¿Cómo hay que poner a funcionar el sifón sin inclinar el recipiente y sin emplear ningún procedimiento tradicional (succionando líquido o sumergiendo el sifón en un líquido)? El recipiente está lleno casi hasta los bordes.



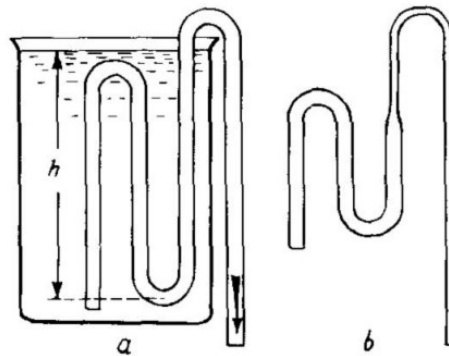
¿Existe algún procedimiento fácil para poner a funcionar este sifón?

El problema consiste en obligar al líquido a elevarse por el tubo de sifón por encima de su nivel en el recipiente y alcanzar el codo del dispositivo. Cuando el líquido pase el codo, el sifón empezará a funcionar. Esto no costará trabajo si se aprovecha la siguiente propiedad de los líquidos, muy poco conocida, de la cual vamos a hablar. Tomemos un tubo de vidrio de un diámetro tal que se pueda tapar muy bien con un dedo. Tapándolo de esa manera vamos a sumergir su extremo abierto en el agua. Por supuesto, el agua no podrá entrar en el tubo, mas, si se aparta el dedo, entrará de inmediato, y nos daremos cuenta de que en un primer instante su nivel estará por encima del nivel del líquido del recipiente; acto seguido los niveles de líquido se igualarán. Vamos a explicar, por qué en un primer instante el nivel de líquido en el tubo supera el del recipiente. Cuando se aparta el dedo, la velocidad del líquido en el punto inferior del tubo es $v = \sqrt{2gH}$ (con arreglo a la fórmula de Torricelli), donde g es la aceleración de la gravedad y H , la profundidad a que está sumergido el extremo del tubo respecto al nivel de líquido del recipiente (Ver figura 3).

FIGURA 3



Mientras el líquido está subiendo por el tubo, su velocidad no disminuye por efecto de la fuerza de la gravedad, puesto que la porción que se desplaza, siempre sigue apoyada sobre sus capas inferiores en el tubo. En semejante caso no se observa lo que tiene lugar cuando arrojamus un balón hacia arriba. El balón lanzado hacia arriba participa en dos movimientos, uno ascendente, con velocidad (inicial) constante, y otro descendente, uniformemente acelerado (provocado por la fuerza de la gravedad). En nuestro tubo no tiene lugar ese segundo movimiento, ya que el agua que se eleva sigue siendo empujada por otras porciones de líquido que están subiendo.



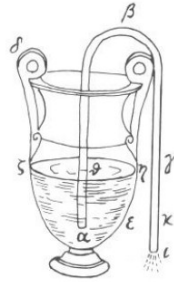
No se necesita succionar estos sifones para ponerlos a funcionar

En suma, el agua que entra en el tubo, alcanza el nivel de líquido del recipiente con una velocidad inicial $v = \sqrt{2gH}$. Es fácil comprender que, teóricamente, debería elevarse rápidamente a otro tanto de altura H. El rozamiento disminuye notablemente su altura de elevación. Por otro lado, también se puede aumentarla

reduciendo el diámetro de la parte superior del tubo. Por cierto, a la vista está cómo podemos aprovechar el fenómeno descrito para poner a funcionar el sifón. Tapando muy bien un extremo del sifón, el otro se sumerge en el líquido a la profundidad máxima posible (para aumentar la velocidad inicial, pues cuanto mayor es H , tanto mayor será $v = \sqrt{2gH}$). Acto seguido hay que retirar rápidamente el dedo del tubo: el agua subirá por éste superando el nivel de líquido de fuera, pasará por el punto más alto del codo y empezará a descender por otra rama; de esa manera el sifón empezará a funcionar. En la práctica es muy cómodo aplicar el procedimiento descrito si el sifón tiene forma adecuada. En la figura, a se aprecia un sifón de este tipo que funciona por sí mismo. Las explicaciones que acabamos de exponer permiten comprender cómo funciona. Para elevar el segundo codo, la parte correspondiente del tubo debe tener un diámetro algo menor, por lo cual el líquido que pasa del tubo ancho al estrecho, subirá a una altura mayor.

El Prof. R. Pol le apoya de una manera muy categórica diciendo lo siguiente: «Durante la enseñanza de la física elemental se suele muy a menudo atribuir el funcionamiento del sifón a la presión del aire. No obstante, esta afirmación sólo es válida con muchas restricciones. De hecho, el principio de funcionamiento del sifón no tiene nada que ver con la presión del aire.» A continuación, este autor pone el ejemplo de una cuerda sostenida mediante una polea: «Lo mismo también es válido para los líquidos, que se resisten a la «rotura», igual que los sólidos. Por ello, el fluido no debe contener burbujas» ... A continuación este autor describe una experiencia consistente en el trasiego de líquidos mediante un sifón, además, el papel de presión atmosférica lo desempeñan dos émbolos con carga, o la presión de otro líquido de densidad más baja: ésta no deja que el «hilo» de líquido se rompa aunque contenga glóbulos de aire. Es cierto que no hay nada nuevo debajo de la luna. Es que la explicación correcta del funcionamiento del sifón, que se ajusta muy bien a lo que acabamos de exponer, data de hace más de dos milenios y se remonta a Herón, mecánico y matemático de Alejandría, siglo I a.C. Este sabio ni siquiera sospechaba que el aire tiene peso, por lo cual no incurrió -a diferencia de los físicos de nuestra época- en el error que acabamos de analizar (ver figura 4)

FIGURA 4



Representación del sifón tomada del tratado de Herón de Alejandría

He aquí lo que dice: «Si el orificio libre del sifón se encuentra a la misma altura que el nivel de líquido del recipiente, no saldrá agua del sifón, aunque esté repleto... En este caso el agua estará en equilibrio. Pero si el orificio libre se encuentra por debajo del nivel de líquido, éste saldrá del sifón, puesto que la cantidad de agua del tramo κB pesa más que la del tramo B,9 y la arrastra hacia abajo.»

Nota: lo anterior es copia textual realizada por los autores.

3 ANÁLISIS DE LA PROPUESTA.

En síntesis nuestra propuesta consiste en realizar una instalación que utilizando el sistema de sifón, retire de la ciénega la mayor parte del material depositado en su fondo. Este material es el resultado de una progresiva acumulación de material sólido de diferente índole proveniente del ciclo natural de alimentación que producen sus diferentes afluentes, como se observa en la Tabla N° 01, de escorrentías y de la acción humana o la combinación de las anteriores. Véase registro fotográfico.

Como quiera que en este estudio solo se pretende mostrar una solución viable y no se definió un alcance de cálculos detallados para conocer el valor exacto de todas sus variables, solo indicaremos un posible cálculo en una de sus corrientes. También se podría hacer una aproximación a la rata de evaporación, a los posibles flujos subterráneos y los consumos por extracción directa. Pero en nuestro concepto pensamos que el valor importante es el flujo de agua sobrante, el cual presenta una variación muy alta que va desde 0 m³/s hasta valores que pasan de los 100 m³/s según se esté en épocas de muy baja o de muy alta pluviometría.

La determinación del contenido de materia depositado en el fondo de este reservorio se puede valorar de una forma bastante aproximada realizando una medición que permita estimar su volumen, medición que implica conocer las curvas que determinan la altura del mismo y su área. Otras variables medibles que implican un muy detallado estudio son válidas solo para una sustentación teórica detallada, que no afecta en nada a nuestra propuesta.

Tabla N° 01
Determinación del NSFI de los tributarios a la Ciénega

Tributario: Quebrada la Vizcaína

| Parametro | Valorac | Concent | I _i | Suma(V _i *I _i) |
|------------------|---------|---------|----------------|---------------------------------------|
| %saturación | 0.17 | 72.5 | 80 | 13.6 |
| Col fecales | 0.15 | 1100.0 | 18 | 2.7 |
| pH | 0.12 | 6.6 | 88 | 10.6 |
| DBO ₅ | 0.10 | 4.0 | 55 | 5.5 |
| Nitratos | 0.10 | 0.9 | 98 | 9.8 |
| Fósforo total | 0.10 | 0.006 | 98 | 9.8 |
| Aporte temp. | 0.10 | 2.1 | 87 | 8.7 |
| Turbiedad | 0.08 | 435.0 | 5 | 0.4 |
| Sól. totales | 0.08 | 443.0 | 39 | 3.1 |
| NSFI calculado | | | | 64.2 |

Quebrada Margaritas

| Parámetro | Valorac | Concent | I _i | Suma(V _i *I _i) |
|------------------|---------|---------|----------------|---------------------------------------|
| %saturación | 0.17 | 71.0 | 70 | 13.3 |
| Col fecales | 0.15 | 400.0 | 28 | 4.2 |
| pH | 0.12 | 6.2 | 68 | 8.2 |
| DBO ₅ | 0.10 | 3.0 | 62 | 6.2 |
| Nitratos | 0.10 | 0.6 | 98 | 9.8 |
| Fósforo total | 0.10 | 0.006 | 98 | 9.8 |
| Aporte temp. | 0.10 | 3.5 | 68 | 6.8 |
| Turbiedad | 0.08 | 155.0 | 5 | 0.4 |
| Sól. totales | 0.08 | 134.0 | 81 | 6.5 |
| NSFI calculado | | | | 65.1 |

Quebrada Zarzal Troncal

| Parámetro | Valorac | Concent | I _i | Suma(V _i *I _i) |
|------------------|---------|---------|----------------|---------------------------------------|
| %saturación | 0.17 | 56.8 | 52 | 8.8 |
| Col fecales | 0.15 | 40.0 | 50 | 7.5 |
| pH | 0.12 | 6.2 | 68 | 8.2 |
| DBO ₅ | 0.10 | 4.0 | 55 | 5.5 |
| Nitratos | 0.10 | 0.8 | 98 | 9.8 |
| Fósforo total | 0.10 | 0.006 | 98 | 9.8 |

| | | | | |
|----------------|------|-------|----|------|
| Aporte temp. | 0.10 | 3.1 | 67 | 6.7 |
| Turbiedad | 0.08 | 161.0 | 5 | 0.4 |
| Sól. totales | 0.08 | 165.0 | 78 | 6.2 |
| NSFI calculado | | | | 62.9 |

Quebrada Zarzal B/manga

| Parámetro | Valorac | Concent | I_i | Suma($V_i * I_i$) |
|------------------|---------|---------|-------|---------------------|
| %saturación | 0.17 | 66.0 | 68 | 11.6 |
| Col fecales | 0.15 | 1400.0 | 12 | 1.8 |
| pH | 0.12 | 6.1 | 67 | 8.0 |
| DBO ₅ | 0.10 | 4.0 | 55 | 5.5 |
| Nitratos | 0.10 | 0.7 | 98 | 9.8 |
| Fósforo total | 0.10 | 0.006 | 98 | 9.8 |
| Aporte temp. | 0.10 | 2.1 | 87 | 8.7 |
| Turbiedad | 0.08 | 370.0 | 5 | 0.4 |
| Sól. totales | 0.08 | 340.0 | 57 | 4.6 |
| NSFI calculado | | | | 60.2 |

Con la tabla anterior se puede determinar el aporte de cada corriente. A manera de ejemplo se presenta el cálculo para la corriente proveniente del Zarzal, en tres diferentes escenarios, como lo muestra la tabla No. 02 a continuación.

Tabla N° 02
Determinación de las cargas afluentes Quebrada el Zarzal

Primer ciclo de muestreo: aguas altas
Q (m³/s) : 56.4

| Parámetro | Concent (mg/l) | Carga (kg/d) |
|---------------------|----------------|--------------|
| DBO ₅ | 4.0 | 19492 |
| DQO | 28.0 | 136443 |
| Sólidos totales | 165.0 | 804038 |
| Sólidos suspendidos | 130.0 | 633485 |
| Nitrógeno total | 2.6 | 12475 |
| Fósforo total | 0.006 | 29 |

Segundo ciclo de muestreo: aguas medias bajas

Q (m³/s) : 13.4

| Parámetro | Concent (mg/l) | Carga (kg/d) |
|---------------------|----------------|--------------|
| DBO ₅ | 4.0 | 4631 |
| DQO | 20.0 | 23155 |
| Sólidos totales | 88.0 | 101883 |
| Sólidos suspendidos | 35.0 | 40522 |
| Nitrógeno total | 2.0 | 2316 |
| Fósforo total | 0.035 | 41 |

Tercer ciclo de muestreo: aguas bajas

Q (m³/s): 7.4

| Parámetro | Concent (mg/l) | Carga (kg/d) |
|---------------------|----------------|--------------|
| DBO ₅ | 6.0 | 3836 |
| DQO | 13.0 | 8312 |
| Sólidos totales | 90.0 | 57542 |
| Sólidos suspendidos | 35.0 | 22378 |
| Nitrógeno total | 0.4 | 256 |
| Fósforo total | 0.240 | 153 |

Nota: estos datos se transcriben POT (documento soporte)

Como se observa, este reservorio recibe algo más que 200 t/día de sólidos totales, los cuales afortunadamente no se acumulan totalmente, pero sí una porción superior al 25%, lo cual puede dar valores del orden de 50 o más t/día. Una primera deducción, muy importante, es que para mantener la condición actual de la ciénaga se debe retirar mínimo esta cantidad, pero como se trata es de recuperarla en el tiempo, este valor debe ser mayor. Y este mayor valor está dado por la cantidad ya acumulada y el tiempo requerido o propuesto para su realización.

Como ejercicio y de manera aproximada se pueden manejar algunas cifras. Los valores a que vamos hacer referencia son tomados del documento soporte del POT, de la ciudad de Barrancabermeja.

Se estima la extensión superficie en 20.000 hectáreas. El nivel de lodos se ha intentado determinar por varios estudios realizados por el acueducto municipal, pero los resultados no son confiables y se manejan cifras del orden de uno a dos metros promedio, debido a que se conocen áreas donde este valor no supera los veinte centímetros y áreas donde este valor supera los tres metros. Por consiguiente se estima para este cálculo el valor más optimista de un metro promedio. El valor de la densidad está estimado en tres gramos por centímetro cúbico.

De acuerdo con lo expresado en el numeral anterior se tiene que el volumen mínimo a mover es del orden de 600×10^6 toneladas, equivalentes a 200×10^6 metros cúbicos.

Como quiera que el sistema propuesto no pueda funcionar con solo lodo, ensayos de laboratorio han determinado que la concentración no debe superar el 50%, siendo ideal valores del orden del 25% al 30%. Para este ejercicio se considera el valor de 25%. Por consiguiente el volumen a trasvasar por el sifón es del orden de los 800×10^6 metros cúbicos, equivalentes a 2.400×10^6 toneladas.

Como se observa es una suma apreciable cuyo manejo puede hacerse de varias formas, pero acorde con nuestra propuesta, el sifón no da velocidades superiores a 1,5 m/seg y el diámetro de los sifones no es conveniente que supere las 6 pulgadas diámetro interno, esto es 0,15 m. De acuerdo con ello, un sifón de 6" estará en capacidad de manejar unos 2.200 m^3 por día, lo cual implica que con un solo sifón se alcanza de retirar 550 m^3 de lodo que equivalen a 1650 toneladas. Con esto se puede considerar que se retiran las 50 toneladas de acumulación diaria permanente y 1600 toneladas de lo acumulado en épocas anteriores.

Los valores antes expuestos nos dicen que con un solo sifón de 6" de diámetro se requiere una duración de 1050 años para retirar los lodos depositados en el fondo de la ciénega.

Ahora bien. Se puede disponer de una longitud de 6 m y una altura que no supere los 0,50 m, en el área de reboce. Un mayor valor de altura implica serios inconvenientes en el nivel con consecuencias delicadas en la zona de influencia. Esto permite colocar 30 sifones por hilera, con lo cual el tiempo se reduce a 35 años, tiempo adecuado para que los ciclos biológicos funcionen de la mejor forma posible.

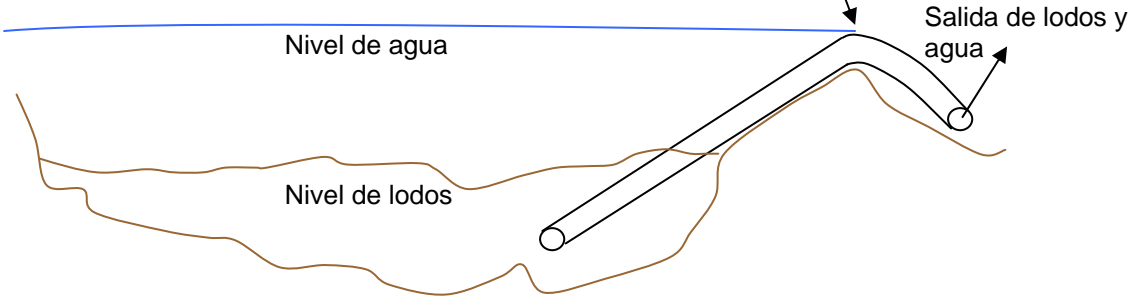
Y esta es en concreto nuestra propuesta.

Las gráficas No. 1 y No. 2 ilustran de manera esquemática nuestra propuesta:

GRAFICA No. 1



GRAFICA No. 2



4 CONCLUSIONES.

1. Se requiere la realización de un estudio detallado , que comprenda una caracterización real actual del sistema , que permita desarrollar la ingeniería conceptual de esta propuesta.

2. Esta propuesta es solo el inicio de un gran estudio que puede desarrollarse a nivel de una Maestría.

3. En general la Ciénaga San Silvestre se encuentran ubicada en una depresión inundable, sobre el margen derecho del río Magdalena, en el municipio de Barrancabermeja y a la confluencia del río Sogamoso.

En el área de estudio se han formado suelos de formas aluviales en las partes topográficamente más bajas, a manera de relleno, y como producto de la depositación directa de sedimentos transportados tanto por el Río Magdalena, como por el río Sogamoso, en la medida que pierden capacidad de carga y energía.

Son suelos mal consolidados y drenados, dispuestos en capas alternas que representan épocas de creciente y verano, con un alto poder de acumulación de aguas subterráneas, teniendo en cuenta su potente espesor, a veces superior a los 50 m. por su cercanía a las corrientes superficiales pertenecen a la planicie de inundación, razón por la cual frecuentemente se inundan y retienen las aguas por tener alta permeabilidad superficial.

4..Esta ciénaga está formada por un sistema de cuerpos de agua, que están unidos por estrechos caños, constituyendo un área aproximada de más de 20.000 hectáreas. Los caños Jeringas y el Llanito alimentan la ciénaga con las aguas provenientes de los terrenos ondulados de origen petrolero, el caño de Jeringas se encuentra parcialmente obstruido disminuyendo su aporte a la ciénaga.

5. La ciénaga San Silvestre vierte sus aguas al río Sogamoso por el caño San Silvestre, el cual a cincuenta metros aproximadamente de su desembocadura, se le unen las aguas de la ciénaga El Llanito. Estos humedales forman un sistema amortiguador de las crecientes durante la época de lluvias de los ríos Sogamoso y Magdalena siendo visibles los procesos de refugio y remanso, dándose la inundación de la cuenca.

Uno de los problemas del área lo constituye el desarrollo de una ganadería extensiva con pastoreo sobre la zona de influencia de la ciénaga, la cual está causando degradación de los suelos, aumentando los problemas de erosión y consecuente sedimentación de los cuerpos de agua.

La intensa deforestación, lo cual sumado a las características frágiles del suelo, pendiente del terreno, gran cantidad de lluvias, y elevadas temperaturas, acrecientan los procesos erosivos, aumentando el poder de arrastre de las aguas de escorrentía y por ende aumentando la sedimentación de los humedales.

Otras actividades antrópicas como la caza, la tala de parches de selva, la depositación de basuras y demás han transformado los ecosistemas originales, presentándose un desequilibrio entre la flora y la fauna. En los alrededores de la ciénaga se presentan reductos de bosques, con rastrojos altos y bajos, así como pastizales y cultivos agroindustriales y pastoreo destinados para la ganadería extensiva principalmente.

La vegetación original se encuentra en gran parte desplazada por potreros para la ganadería, lo que ha traído como consecuencia una tendencia a la sequía de los humedales, incrementándose así la sedimentación de los mismos.

6. A los alrededores de la ciénaga los ecosistemas terrestres se encuentran

totalmente reemplazados por praderas de pastos para ganadería. La Vegetación acuática no es abundante pero es notorio pequeños parches de *Eichonnia cressipes* junto a otros macrófitas flotantes como *Pistia stratioides*, *Salvinia auriculata*, *Salvinia rotunditofolia*, *Polygonum* , etc.

7. En general los problemas que afronta la ciénaga San Silvestre son destrucción de la vegetación terrestre; contaminación orgánica, sólidos sumergidos y en suspensión, aguas residuales domésticas por parte de los habitantes de bajos recursos, que viven aledaños al cuerpo de agua de este humedal.

8. La ciénaga se considera como una fuente de agua para los habitantes aledaños pero no cuenta con estudios para evaluar su potabilidad para el consumo humano.

Con relación a la pesca la actividad la ejercen de acuerdo a la oferta y la demanda del recurso (épocas de producción), en su mayoría los pescadores son habitantes de la misma ciénaga, aunque ocasionalmente pueden llegar pescadores de otras áreas dependiendo igualmente de la oferta, se pesca en el caño de acceso a la ciénaga. En época de verano su mayor problema es la disminución de los volúmenes de agua , que afecta la pesca, proceso que ha alertado a la comunidad.

5 RECOMENDACIONES

- La ciénaga San Silvestre cubre gran parte de los perímetros urbano y rural, con tendencia a desaparecer por su gran contaminación y rellenos que se han venido efectuando en aras de aumentar el suelo firme para obtener más posibilidades de construcción. Adicionalmente, estos elementos se convierten en entes ordenadores del territorio ya que geográficamente son límite de ocupación del mismo por lo cual se recomienda adoptar formas y estrategias de urbanismo y producción que respeten y aprovechen de modo sostenible y creativo las condiciones del alto potencial de desarrollo de la ciénaga (pesca , acuicultura , ecoturismo , silvicultura y otras).
- Contradictoriamente, el desarrollo físico de la ciudad de Barrancabermeja da la espalda a este medio de desarrollo biótico y orienta hacia él los impactos y residuos. Así, se destruyen los ecosistemas estratégicos más cercanos a la ciudad antes de que hayan sido aprovechados para la generación de empresas, empleo y servicios, por lo cual la Ciénaga San Silvestre como determinante biofísica, de mayor relevancia en el municipio, ha venido en decadencia debido al mal uso, dado al suelo en sus partes altas, trayendo como consecuencia el alto grado de sedimentación y la irregularidad hídrica, con las connotaciones que los dos procesos acarrearán, trayendo como consecuencia la eutrofización de la misma y la muerte de las especies de fauna que en ella se desarrollan, por lo cual se recomienda que el municipio recupere y conserve este cuerpo de agua impulsando de manera sostenible las labores pesqueras, regule los usos agropecuarios, industriales, urbanos y suburbanos, loteos, parcelaciones y construcciones de viviendas, minería, disposición de residuos sólidos, tala y rocería de la vegetación, caza de la fauna silvestre cerca o alrededor de la ciénaga, para así evitar la muerte súbita

de este importante cuerpo de agua del cual depende la subsistencia de algunos habitantes de la región.

- La intensa deforestación, acrecienta las características frágiles del suelo, pendiente del terreno, gran cantidad de lluvias, y elevadas temperaturas, aumentan los procesos erosivos, generando mayor poder de arrastre de las aguas de escorrentía en época de lluvia y por ende aumentando la sedimentación de la ciénaga en época de sequía, lo cual conlleva a que los peces que desovan en ésta en época de verano, que vienen del río Magdalena, y al pasar por la represa quedan atrapados, no puedan seguir con su ciclo natural de vida , conllevando a que muchas especies de peces estén en vías de extinción y que a un futuro cercano la actividad pesquera en esta ciénaga sea prohibida, por lo cual se recomienda que la clase política y dirigente de la ciudad de Barrancabermeja realice la implementación de este proyecto, y así, evitar que esta ciénaga con el tiempo se convierta en una laguna de fermentación aeróbica generando serios impactos que afectarán la vida en sus alrededores.

6 BIBLIOGRAFÍA.

BOLETÍN INFORMATIVO No. 9 * INSTITUTO HUMBOLDT* NOV .1998
BIOSINTESIS.

Páginas de Internet:

- Eutroficación: El proceso de eutroficación resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes. Algunos de los cambios que ocurren con la eutroficación.
www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/20agua.html - 17k.
- EL AGUA: Eutroficación : Crecimiento excesivo y molesto de algas en lagos, Problemas de la eutroficación:. Empeoramiento del uso recreacional del agua.
www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html - 215k.
- CEPIS/OPS-Eutroficación en lagos cálidos tropicales. La eutroficación produce un exceso de algas y macrófitas en cuerpos de agua. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos.
www.cepis.ops-oms.org/bvsaca/e/eutrofic.html - 9k.
- Eutrofización (= Eutroficación) Proceso natural y/o antropogénico. Los factores que afectan el grado de eutroficación.
www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Eutrofizac.htm - 39k.
- El Problema de la Eutroficación. La contaminación y eutroficación de los cuerpos acuáticos a causa de poluentes. Eutroficación es un proceso de enriquecimiento nutriente.
usuarios.lycos.es/lagosedelur/Text/problemaeutrofizacion.htm - 16k.
- Eutroficación. Glosario de jardinería, flores, plantas, botánica y medio ambiente.
www.infojardin.net/glosario/estanque/eutrofizacion.htm - 23k.
- [PDF] Contaminación y eutroficación. El estudio forma parte de una versión en HTML: investigación que tiene como objetivo el determinar la influencia del río Panuco en el Golfo de México.
www.setmana-geomatica.org/front/abstracts/Dimecres9/T19_abs.pdf.
- Evaluación de la contaminación y eutroficación de aguas.

Este proyecto se ha realizado en el Laboratorio de Hidrobiología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

secyt.unc.edu.ar/Temas/Temas7/_Prosperi_invest.htm - 2k.

- Evaluación de la contaminación y eutroficación de aguas. En otro sentido, durante el proceso de eutroficación el mejor ejemplo de los cambios que se producen lo constituye la reacción del plancton.
secyt.unc.edu.ar/Temas/Temas7/Prosperi.htm - 14k.
- Eutroficación: CONTAMINACION DEL AGUA POR: FOSFATOS.
info.uibk.ac.at/info/oecd-macroth/es/3376.html - 2k.
- Contribución al conocimiento del régimen térmico e hídrico de Colombia, de *Jesús Eslava et all.*,
- **Ing. Roberto Marrero Arias** Ingeniero Industrial por la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya”, Cuba 1987; Profesor Auxiliar (Universidad de Holguín, 2005), Vicedecano de Universalización la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Holguín.

7 ANEXOS.

Véase registro fotográfico en el CD adjunto