

Desarrollo e implementación de un sistema de bajo costo con tratamientos por medios naturales para la potabilización de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá

Development and implementation of a low cost system with treatment by natural means for the purification of surface water in households in the rural sector in the municipality of Fusagasugá

Julián Zamudio Piñeres

Químico
Instructor
jazamudio77@misena.edu.co

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Regional Cundinamarca
Centro Agroecológico y
Empresarial

Darwin Ibarra Chamorro

Ing. Hídrico
Instructor
dbibarra@misena.edu.co

Oscar Andrés Solaque

Coordinador de investigación
Líder SENNOVA Fusagasugá
osolaque@sena.edu.co



Resumen

El agua potable es un derecho fundamental del ser humano. La ONU estableció que en Colombia para el año 2015 se debía alcanzar el 85% de cubrimiento en el sector rural de acuerdo a mediciones realizadas en 2011 por la Comisión Económica para América Latina (CEPAL). Actualmente este cubrimiento está en el 72%.

El proyecto de investigación aplicada contribuye a este indicador mediante la implementación de un sistema sostenible de bajo costo, que proyecta su uso en las viviendas de las veredas del sur del municipio de Fusagasugá y realiza la potabilización de agua con un proceso que utiliza coagulantes naturales. El estudio comprende fases de análisis del entorno, definición de un producto natural como coagulante, diseño, desarrollo y entrega de los sistemas a la comunidad, en el que se incluye el seguimiento operativo.

Con el análisis del entorno, se determina el nivel de cubrimiento que tiene el agua potable en la zona de estudio mediante información otorgada por las empresas de servicios públicos y el estudio de reconocimiento realizado por el grupo de investigación. Para la definición del coagulante se realizan procesos de laboratorio para determinar el material orgánico adecuado entre ocho posibilidades y la optimización de los parámetros de uso dentro del sistema. En la fase de diseño y desarrollo se efectúa el proceso para la elección de los componentes del sistema y su disposición con base en las dinámicas económicas y culturales de la región. Por último, se muestran los resultados de la evaluación realizada a los sistemas entregados.

En el estudio se evidencia el aumento del nivel de cubrimiento de agua potable, en un promedio cercano al 10% para la zona analizada, asimismo se determina que el sistema presenta un costo de \$141.616, un valor Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA) de 2, una producción de 1,5L/h con una mezcla de sábila – pitahaya como coagulante natural. De la misma manera, la evaluación operativa del sistema, muestra un comportamiento técnico acorde a los resultados esperados. Sin embargo, su uso no se da en toda la comunidad debido a factores como los niveles de escolaridad, compromiso con el proyecto, liderazgo comunitario y la falta de seguimiento por parte de la comunidad a los procedimientos establecidos por el equipo investigador.

Palabras Clave:

Tratamiento de agua, agua potable, cubrimiento de agua potable, coagulantes naturales, sistemas alternativos, sistemas sostenibles.

Abstract

Potable water is a fundamental right for human beings, the UN established that Colombia should reach 85% of drinking water coverage at the rural sector in 2015, on basis the CEPAL measurements (Comisión Económica para America Latina y el Caribe) made in 2011 actually this coverage it is around of 72%.

The Applied Research Project contributes to this indicator by performing a low-cost sustainable system to be used in the homes of the villages in the south of the town of Fusagasuga and performs water purification by process that

uses natural coagulants. The study includes analysis phases of the environment, defining a natural product as a coagulant, design, development and distribution of the systems to the community, which included operational monitoring.

With the environment analysis, using information provided by utilities and reconnaissance study conducted by the research group the level of coverage that has drinking water in the study area is determined. For the definition of coagulant laboratory processes are performed to determine the appropriate organic material from 8 possibilities and optimizing usage parameters within the system. In the design and development phase the process for choosing the system components and their arrangement on the basis of economic and cultural dynamics of the region it is carried out, finally the results of its evaluation for delivered systems are showed.

In the study, it is evidenced the increased level of coverage of drinking water in the near 10% average for the area analyzed, also is determined that the system has a cost of \$141.616 (COP), an IRCA value of 2, a production of 1.5L/h with a mixture of aloe - dragon fruit as a natural coagulant.

Likewise, operational evaluation system displays a consistent technical performance than expected results, however, its use does not occur in the community due to factors such as level of education, level of commitment to the project, community leadership and not monitored by the community with the procedures established by the research team.

Keywords:

Water Treatment, Potable water, Water potable coverage, natural coagulants, alternatives systems, sustainable systems.

Introducción

El acceso a servicios de agua potable es una necesidad básica humana y es considerado un derecho fundamental consagrado en el Artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos de Naciones Unidas (ONU 1948), así como otros servicios sociales necesarios para asegurar a las personas y familias un nivel de vida adecuado y digno. Sin embargo, a nivel mundial se estima que 1 billón de personas no tienen acceso al agua potable y 2,6 billones de personas no tienen acceso a servicios de saneamiento adecuado.

En América Latina, las cifras en acceso a agua potable y servicios de saneamiento alcanzan a 49 y 120 millones de personas, respectivamente (Ducci et al. 2007). En vista de este panorama, en la Cumbre del Milenio organizada por la ONU, se estableció como una de las metas de desarrollo para el milenio,

reducir para el 2015 el déficit de cobertura de agua potable a lo observado en 1990 (Torres y Mujica et al., 2004).

El cumplimiento de estos objetivos implica en América Latina inversiones cercanas a los \$31 billones de dólares en agua potable y saneamiento (BID 2007).

En Colombia, en 1993, el porcentaje de acceso a agua potable a nivel urbano era de 94% y con la meta para el 2015 de 99%. En el sector rural, el acceso era de 44,1% y con la meta para el 2015 de 85%. (Núñez y González et al., 2006).

En 2011, el país mejoró su gestión en este ámbito, pero no ha cumplido todavía las metas planteadas. En el área urbana los niveles de cubrimiento son de 94% mientras que en la zona rural el cubrimiento es de 72%. Alcanzar las metas planteadas le representa al país una inversión estimada de 523 millones de

dólares (BID 2013). Por otra parte, la dinámica interna muestra que en zonas geográficas donde las empresas prestadoras de servicio de agua potable cuentan con un número menor de 25.000 suscriptores, ofrecen un servicio que no es continuo y la calidad es difícil de asegurar durante todo el año (Ministerio de Medio Ambiente - Superintendencia de Servicios Públicos, 1997). El 70% de los municipios de Colombia presentan una población menor a 25.000 habitantes y generalmente estas comunidades son resistentes a la entrada de operarios especializados debido al aumento en las tarifas de prestación del servicio de agua potable (Comisión Económica para América Latina y el Caribe 2013).

Las dinámicas actuales no permiten el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el corto plazo en Colombia. Esta condición hace que se usen las tecnologías apropiadas sostenibles para

el abastecimiento de agua potable, una de las mejores soluciones (Morató et al. 2006). Por otra parte, la construcción de este tipo de alternativas para el tratamiento de agua en zonas de bajo cubrimiento no son nuevas y se han realizado sistemáticamente con resultados satisfactorios en varias regiones de Centro América y Suramérica (Hidalgo et al., 2004). Dentro de estas alternativas el uso de coagulantes naturales para la clarificación de agua es un aspecto importante y depende en gran medida de los compuestos de cada región (Rodríguez y Muñoz et al. 2005). En este sentido se han realizado comparaciones entre productos de origen sintético y de origen natural en los que se evidencia una menor eficiencia en la remoción de material suspendido en el agua por parte de los productos naturales a las mismas dosis de aplicación (Camareno et al. 2006), así como la utilización de compuestos

naturales en plantas de tratamientos para pequeñas comunidades en donde su uso disminuye ligeramente la eficiencia financiera y operativa de la planta, pero permite una calidad de agua igual a la obtenida con productos sintéticos planteando una solución sostenible para el funcionamiento de este tipo de instalaciones, (Sanz et al., 2009) brindando de esta manera oportunidad para la introducción masiva de esta iniciativa en la región Latinoamericana.

El municipio de Fusagasugá pertenece al departamento de Cundinamarca y presenta una población total de 131.914 habitantes y una población rural de 25.968 habitantes (DANE 2014), lo que corresponde a un 19,7 % de la población total. Esta población está distribuida en cinco corregimientos, los cuales están organizados en diferentes veredas con un número menor a 25.000 habitantes cada una.

En el año 2010 el cubrimiento de acueducto en la zona rural de Fusagasugá fue alrededor del 30% (Instituto Colombiano de Desarrollo Rural 2012).

Con este panorama, esta investigación pretende realizar una prueba piloto para desarrollar y evaluar un sistema sostenible y de bajo costo para la potabilización de agua con el uso de coagulantes de origen natural para los habitantes de las veredas Betel, La Unión, Espinalito, Mosquera y El Placer del municipio de Fusagasugá. El sistema será instalado en cada vivienda para que produzca agua de consumo para una familia de cinco integrantes (25 litros/día aproximadamente), que sea operado directamente por el núcleo familiar, con procedimientos de mantenimiento sencillos y que cumpla con los parámetros básicos legales vigentes de agua potable (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2007).

En el diseño se incluyen componentes de fácil acceso a la población rural, con el objetivo de promover la continuidad de su uso, y evitando de esta manera la situación presentada con otro tipo de sistemas que muestran discontinuidad en el tiempo por falta de acceso a repuestos y consumibles por parte de los usuarios rurales (Olave et al. 2014).

1. Materiales y Métodos

El desarrollo del proyecto de investigación se llevó a cabo en el municipio de Fusagasugá

en las veredas Betel, La Unión, Espinalito, Mosquera y El Placer.

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de agua y los análisis se hicieron con el apoyo de los aprendices asociados a los programas tecnológicos en Agua y Saneamiento y Control Ambiental del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá - Regional Cundinamarca del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

Se diseñaron cuatro fases para el desarrollo del sistema, de las cuales tres se ejecutaron de manera paralela. En la Figura 1 se muestran las fases de la investigación:

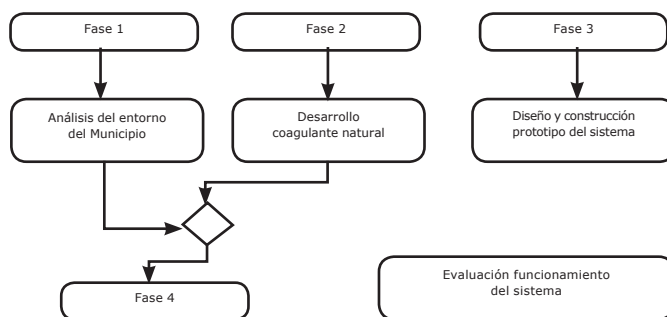


Figura 1. Fases de desarrollo del sistema

Fase 1 Análisis del Entorno del Municipio

En esta fase se recopiló información secundaria para establecer las zonas de menor cubrimiento de agua potable y la población objeto para realizar la prueba piloto del sistema. Inicialmente se consultó directamente las bases de datos de los acueductos de la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá, Emserfusa; la Cooperativa de Veredas del Sur Coovesur y el Acueducto Leonardo Hoyos que prestan el servicio de agua potable en el municipio.

Luego se aplicó una encuesta para recopilar información sobre condiciones de salubridad, económicas, sociales y de acceso a agua potable en las veredas del municipio. Se estableció el diseño muestral utilizando la metodología de la Encuesta de Hogares. El cuestionario se estructuró con preguntas cerradas de selección múltiple,

con opciones de única respuesta y múltiples respuestas y fue probado antes de su aplicación por grupos de aprendices del Centro Agroecológico y Empresarial. La población objetivo se constituyó por unidades familiares rurales de las veredas Mosquera, Bethel, La Unión, El Placer y Espinalito aledañas al río Cuja, el tamaño de la muestra se calculó utilizando la fórmula para poblaciones, y se consideró como unidad muestral el segmento (conglomerado) conformado por una unidad residencial habitada por al menos una familia de cualquier número de integrantes. El diseño se basó en una muestra no probabilística estratificada de conglomerados y multietápica.

La encuesta se realizó entre los meses de agosto y noviembre del año 2014 con cobertura local en las cinco veredas mencionadas anteriormente y en sectores rurales. Se desarrolló además, una jornada de trabajo de campo en las veredas El Placer

y Espinalito que incluyeron visitas domiciliarias de los encuestadores a cada vivienda. Entre tanto, en las veredas la Unión, Mosquera y Bethel se programaron reuniones con la comunidad a través de los presidentes de las Juntas de Acción Comunal. Se obtuvo un total de 192 encuestas efectivas que se analizaron y procesaron en el presente estudio.

Tabla 1. Muestra total y porcentaje de participación por vereda encuestada.

Vereda	Total Muestra	Porcentaje
Bethel	29	15,1%
La Unión	12	6,3%
Espinalito	48	25,0%
Mosquera	28	14,6%
El Placer	75	39,1%
Total	192	100%

Tabla 2. Variables a medir, equipos y métodos utilizados

Parámetro	Unidad	Método
Color Aparente	UPC	Colorimétrico
pH	Adim.	Potenciométrico
Turbiedad	NTU	Turbidimétrico
Conductividad	uS/cm2	Conductivemétrico

Fase 2 Desarrollo Coagulante Natural

Se realizó una consulta en el municipio para identificar compuestos utilizados de manera artesanal en la clarificación de aguas; con esta información se determinó analizar cristales de sábila, nuez de semilla de mango dulce, cáscara de mandarina, fruto de guatila, semilla de tamarindo, hojas y corteza de moringa olifera y fruto de pitahaya. A los compuestos definidos se les determinaron los parámetros por medio de los métodos descritos en la Tabla No 2.

Para asegurar la calidad de los resultados obtenidos se capacitaron seis aprendices, y se realizaron estudios de precisión intermedia y exactitud para los parámetros de turbidez, conductividad y pH, utilizando patrones trazables como valores de referencia. Cada analista realizó cinco mediciones de cada parámetro por día, en dos jornadas de trabajo. La operación de cada uno de los métodos se realizó mediante la consulta de métodos oficiales (Arboleda et al. 2000).

Preparación de los compuestos

Los compuestos fueron sometidos a un proceso de alistamiento para poder utilizarlos como coagulantes.

Los procesos realizados se describen a continuación:

1. Cristales de sábila

La penca completa de sábila se corta en la raíz y se abre por

la mitad quedando expuestos los cristales de la sábila, los cuales son incoloros pero no translucidos y presentan una gran cantidad de humedad. Estos cristales se retiran de la corteza de la penca con el uso de un bisturí y después se cortan finamente en cuadrados pequeños no mayores de tres milímetros de lado.

2. Nuez de semilla de mango dulce

La semilla de mango se abre por la mitad por medio de un cincel y martillo, al realizar esta acción queda expuesta la nuez de la semilla, la cual es de color blanca. Se secó al sol durante cuatro días protegida de la lluvia, se colocó en una estufa a 130° C durante 48 horas hasta dejarla libre de humedad. El siguiente paso fue triturarla en un molino de cereales marca Corona dando como resultado un polvo de color blanco.

3. Cáscara de mandarina

La cáscara húmeda recién desprendida de la fruta se corta en cuadros no mayores a tres milímetros de lado y son usados en los ensayos. Así mismo, la cáscara de mandarina se desprende del fruto y se coloca en bandejas de plástico a secar a temperatura ambiente durante 96 horas, mostrando un color final naranja amarillento. Después se lleva al laboratorio y se coloca a 120 °C por dos horas hasta retirar toda la humedad remanente, esta cáscara se trituro en un molino de cereales marca Corona dando como resultado un polvo de color amarillo opaco.

4. Fruto de guatila

Se quitó la cáscara del fruto, se colocó en un procesador de frutas marca Oster, se recogió el extracto resultante y se utilizó en los ensayos. En otro procedimiento, se cortó el fruto en la mitad con un bisturí y se

extrajo la semilla que presentó un color amarillo pálido. Esta semilla se cortó en pequeñas partes de forma cuadrada en un tamaño no mayor a tres milímetros de lado y se colocó a 120 °C por una hora en la estufa, después de este tiempo se trituro en un molino de cereales marca Corona dando como resultado un polvo de color blanco.

5. Semilla de tamarindo

La semilla de tamarindo se colocó a secar a temperatura ambiente protegida de la lluvia por 120 horas y su color se opacó ligeramente, después se partió en varios pedazos por medio de un cincel y un martillo. Posteriormente, se trituro en un molino de cereales marca Corona dando como resultado un polvo de color amarillo.

6. Hojas y ramas de moringa olifera

Las hojas y ramas de moringa olifera se colocaron a secar

a temperatura ambiente protegidas de la lluvia por 120 horas, después de este tiempo se tomaron las hojas y las ramas y se partieron en trozos más pequeños por medio de un martillo. Posteriormente, se trituro en un molino de cereales marca Corona dando como resultado un polvo de color verde opaco.

7. Frutos de pitahaya

El material interno del fruto se separa de la cáscara utilizando un bisturí, se corta en trozos cuadrados de un tamaño aproximado de cinco milímetros de longitud.

Ensayo de floculación y determinación de parámetros para los compuestos.

El proceso realizado a cada uno de los compuestos fue el siguiente: se preparó una muestra de agua con turbidez controlada pesando 17,5 gramos de tierra común en una balanza

Boeco referencia bbl31 y se colocó este material en ocho litros de agua, esta mezcla se agitó a 40 rpm por 15 minutos y se dejó en reposo durante 10 minutos.

Después de esta operación se adicionaron las masas de compuesto a cada una de los cinco recipientes del equipo de jarras, para obtener dosis de aplicación del compuesto de 0,4 -1,0 - 1,4 - 2,0 y 3,0 g/L. El ensayo de floculación se efectuó en el equipo floc-Tester referencia 750a de Lovivond, con las siguientes condiciones técnicas: tiempo de nucleación de un minuto con una agitación de 100 rpm seguido de un periodo de formación de flóculos de 20 minutos a una velocidad de agitación de 50 rpm y finalmente un periodo de precipitación de 15 minutos. En cada uno de los ensayos realizados, en una de las jarras no se le adicionó compuesto ya que es la jarra de control del ensayo. Al terminar el ensayo se

determinaron los parámetros de pH y conductividad con un multiparámetro marca HACH referencia HC40 con sonda de pH y conductividad; el color aparente se determinó con un colorímetro marca HACH referencia DR890 y la turbidez en un turbidímetro marca HACH referencia 2100p. La elección del mejor floculante natural se realizó utilizando el indicador

de remoción de turbiedad el cual se calcula de la siguiente manera:

$$IRT\% = \frac{(\text{Turbiedad Inicial} - \text{Turbiedad Final})}{(\text{Turbiedad Inicial})} \times 100$$

La determinación del mejor coagulante se realizó comparando los resultados obtenidos para los compuestos con los dos mayores valores de IRT%, que son los cristales de sábila a una dosis

Tabla 3. Proceso de estandarización de compuestos

Ensayo	Descripción de la modificación	Ensayo	Descripción de la modificación
1	Velocidad de nucleación 120rpm.	7	La dosis está compuesta por 50% de sábila y 50% de pitahaya. A pH 7.
2	Disminución de tamaño de partícula del compuesto a 100um.	8	La dosis está compuesta por 25, 50 y 75 % de pitahaya y el resto sábila. A pH de 7.
3	Calentamiento de Cristales a 60°C	9	La dosis está compuesta por 50% de sábila y 50% de pitahaya. A pH 11
4	Adición de 1 ml de NaCl al 5%.	10	La dosis está compuesta por 25, 50 y 75 % de pitahaya a pH de 11.
5	Disminución de velocidad de floculación a 35 rpm y Tiempo sedimentación 25'.	11	La dosis está compuesta por 25 % de pitahaya más 0,5 g de carbón triturado.
6	Se aumenta pH a 11 con NaOH al 5%.	12	La dosis está compuesta por 25 % de pitahaya con 34' tiempo de sedimentación.

de 1,4g/L y la pitahaya con una dosis de 3,0 g/L.

Estandarización de Compuesto Coagulante

Al terminar el análisis de jarras, se determinó a los cristales de sábila como el compuesto a estandarizar modificando las condiciones con respecto a los planteadas inicialmente. En la Tabla 3 se muestran las modificaciones realizadas.

Fase 3 Diseño y Construcción de Prototipo del Sistema

Se realizó una consulta sobre tecnologías compactas para el

tratamiento de agua enfocadas a satisfacer necesidades en zonas vulnerables del planeta como lo son África, India, Vietnam, Irán, Perú, Colombia, entre otras. Se analizaron diferentes sistemas y el conocimiento local sobre el tratamiento de agua y se determinó proponer un sistema con las etapas de una planta convencional de tratamiento de agua. Para definir los componentes del sistema, se realizó la visita a diferentes ferreterías del municipio de Fusagasugá en busca de partes con mayor disponibilidad comercial. Con los elementos seleccionados se construyeron tres prototipos que se sometieron

Ensayo	Descripción de la modificación
1	Velocidad de nucleación 120rpm
2	Disminución de tamaño de partícula del compuesto a 100um
3	Calentamiento de Cristales a 60°C
4	Adición de 1 ml de NaCl al 5%
5	Disminución de velocidad de floculación a 35 rpm y Tiempo sedimentación 25'
6	Se aumenta pH a 11 con NaOH al 5%

a pruebas para definir su comportamiento hidráulico, tiempos de llenado, filtración, microfiltración y características de mantenimiento, entre otros. Al agua tratada por los prototipos, se le realizaron pruebas de laboratorio de turbiedad, color aparente, pH, conductividad, coliformes totales y *Escherichia Coli*.

El río Cuja del municipio de Fusagasugá es la fuente de agua para todas las veredas de estudio, por esta razón se tomaron muestras en la zona Michú, en los puntos de abastecimiento en la finca el Shalomy Refugio ubicadas en la vereda el Placer y la escuela de la vereda Espinalito.

La evaluación del sistema se efectuó mediante análisis por triplicado de turbiedad, color aparente, pH, conductividad, coliformes totales y *Escherichia Coli*, realizando el cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para el Consumo Humano – IRCA- establecidos en el Decreto

2115 de 2007 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Social 2007).

Fase 4 Evaluación funcionamiento del sistema

Se desarrolló la construcción de 196 sistemas de tratamiento en las instalaciones de Bethel del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá, Regional Cundinamarca, para ser entregados a los núcleos familiares y escuelas escogidas para la aplicación de la prueba piloto de funcionamiento. En asociación con los presidentes de la Junta de Acción Comunal de las veredas se realizaron sesiones de entrega y capacitación a los usuarios finales en el rango de fechas comprendido entre 11 de noviembre al 22 de noviembre de 2014.

En las sesiones de entrega se asignó un aprendiz integrante del proyecto para el seguimiento a la instalación y puesta en marcha del sistema en cada una

de las viviendas seleccionadas. El seguimiento operacional se realizó en visitas presenciales entre el 1 y el 5 de diciembre del 2014 en las veredas de La Unión, Mosqueral, Bethel y Espinalito a 70 viviendas escogidas de manera aleatoria. En la visita se registraron las novedades existentes en el momento.

2. Resultados y Discusión

Fase 1 Análisis del Entorno del Municipio

La búsqueda de información en las bases de datos de las empresas prestadoras de servicios públicos muestran que la cabecera municipal cuenta con una cobertura del 95%. En la zona rural de la vereda El Placer se registra un cubrimiento del 95%, en las veredas Mesitas y Bethel hay redes de distribución pero no fue posible acceder al porcentaje de cubrimiento de las mismas. Entre tanto, las veredas la Isla, Mosqueral, El

Triunfo, La Unión, Sardinas y Guayabal no tienen cubrimiento de agua potable por parte de las empresas prestadoras del servicio. Con base en esta información se hizo la aplicación de la encuesta en veredas de la parte alta y baja del río Cuja, tres veredas no presentan ningún tipo de cubrimiento como lo son Espinalito, Mosqueral (parte baja del río) y La Unión (parte alta del río), una vereda con gran porcentaje de cubrimiento es El Placer (parte baja del río) y una de bajo cubrimiento es Bethel (parte alta del río).

A continuación se muestran los resultados de la aplicación de las encuestas en cada una de las veredas:

La energía eléctrica es el servicio público con mayor cobertura, en contraste el agua potable tiene alta cobertura solamente en la vereda El Placer con un 96%, las demás veredas presentan carencia de agua potable según lo muestran

los niveles de cobertura del 3% para Bethel, 8% La Unión, 4% Espinalito y 21% Mosquera; la vereda El Placer exhibe una diferencia considerable en la cobertura de todos los servicios básicos de saneamiento, ya que se evidenció que la zona es un lugar de gran cantidad de recursos privados y está definida como una zona de estratificación 6, en la Figura 2 se muestra el cubrimiento de los servicios públicos por vereda.

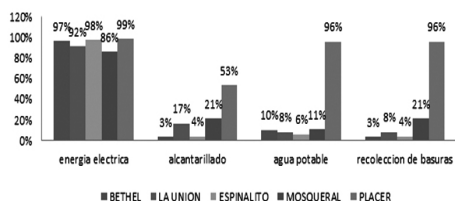


Figura 2. Cubrimiento servicios públicos por vereda

Se encontraron cuatro fuentes distintas de agua utilizadas para la preparación de alimentos y consumo humano. En la Figura 3 se muestra la distribución porcentual de cada una de las veredas. El Placer

y Bethel presentan la mayor proporción de consumo de agua proveniente de acueducto veredal, en contraste con las demás veredas en las cuales la proporción es baja.

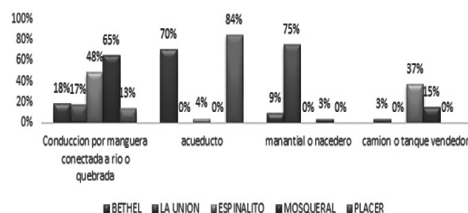


Figura 3. Fuente de Agua utilizada para consumo humano por vereda

Es importante anotar que en la vereda Bethel se encuentra un sistema de conducción de agua desde un nacedero profundo, el cual no opera bajo los parámetros de la regulación colombiana. No obstante, los habitantes de la zona identifican este sistema de conducción como un acueducto.

El tratamiento realizado al agua antes de consumir presenta diferentes patrones en cada vereda y varían de una vereda a otra. En la Figura 4 se muestra

los tratamientos realizados por los habitantes de las veredas al agua que consumen.

Por ejemplo, en la vereda La Unión, el cubrimiento de agua potable alcanza un 8%, el 58% de las familias no tratan el agua antes de consumirla; el 21% en las veredas Mosquera y El Placer la consumen sin ningún tratamiento previo. Sin embargo, la diferencia entre estas dos veredas es el cubrimiento de agua potable antes mencionado. Adicionalmente, en Mosquera, un porcentaje del 46% la compra purificada para el consumo. Como se observa en la Figura 4, en la vereda El Placer, el 79 % de los encuestados realizan tratamientos adicionales al agua

suministrada por el acueducto a pesar de tener un cubrimiento del 94%, lo que verifica el hecho que en zonas de 25.000 suscriptores no se garantiza la calidad del agua.

Se encuentra como dato significativo que los porcentajes de percepción como potable en las veredas antes descritas, superan el 14%, mientras que el porcentaje de cubrimiento no supera el 10% lo que representa una clara falta de conocimiento por parte de los habitantes sobre el concepto de agua potable y los derechos humanos fundamentales. En la vereda El Placer la calificaron como potable el 88% de los encuestados, pero el 79 % le realiza un tratamiento adicional, donde la calidad está

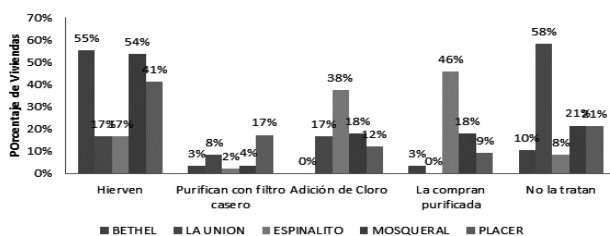


Figura 4 . Tratamiento realizado al agua utilizada para preparación de alimentos y consumo humano

cuestionada para este tipo de zonas.

A excepción de la vereda El Placer, los habitantes calificaron como potable el agua en una proporción menor al 26%. En la Figura 5 se muestra la calificación del agua por parte de los habitantes de las veredas.

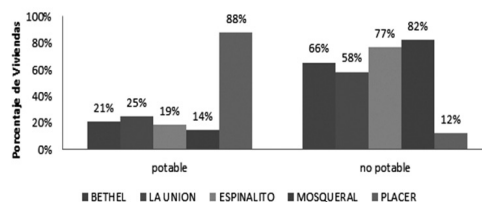


Figura 5. Calificación del agua recibida por parte de los habitantes de las veredas

En cuanto al tipo de agua que consume, se encontró que la mayor parte de los habitantes describe el agua como limpia. En la Figura 6 se muestra la descripción del agua para consumo por parte de los habitantes de las veredas.

En las veredas Mosquera y Espinalito, en su mayoría

perciben el agua turbia, en cuanto a la vereda El Placer el 81%.

De la información presentada se observa la falta de cubrimiento y calidad en el agua para las veredas de Bethel, Mosquera, La Unión y Espinalito, así como la necesidad de implementar acciones concretas para mejorar las condiciones en estas veredas.

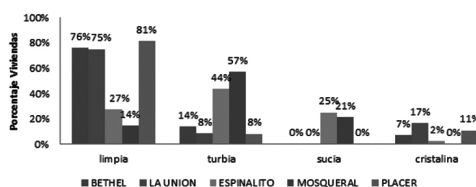


Figura 6. Percepción del agua consumida por los habitantes de las veredas

Fase 2. Desarrollo Coagulante Natural

En la Tabla 4 se muestran los resultados de control de calidad obtenidos en el laboratorio por parte de los analistas.

Tabla 4. Parámetros de control estadístico para los analistas

	Turbidez	Conductividad	pH
Unidad	NTU	uS/Cm	Adimensional
Valor Objetivo	6,00	1450,00	7,00
Promedio	5,95	1453,03	7,20
Exactitud	0,05	-0,03	-0,20
Desviación estándar	0,19	0,26	0,07
Varianza	0,03	0,07	0,01
%CV	3,11	1,28	1,01

Los tres parámetros utilizados para realizar el control de calidad están por debajo de un CV% del 5, indicando una adecuada precisión, así como la variación entre los diferentes analistas del laboratorio está alrededor del 5%. Estos resultados muestran que los resultados obtenidos tendrán validez analítica.

En la Figura 7 se muestran los valores obtenidos para el Índice de Remoción de Turbidez - IRT de cada uno de los compuestos analizados.

Los compuestos con IRT % negativos indican la formación

de suspensiones estables en agua, evidenciando la falta de formación de flóculos, motivo por el cual la turbidez final es mayor a la inicial dando como resultado un valor negativo del índice. Los compuestos que muestran mayor IRT% son los cristales de sábila, la nuez de la semilla de mango, y la pitahaya. La nuez de la semilla de mango, presenta a bajas concentraciones un alto poder floculante con un valor máximo de 40 %. Sin embargo, a altas concentraciones tiende a formar suspensiones con el agua y disminuye su acción como coagulante. La pitahaya presenta un buen comportamiento a una dosis de 3g/L con un valor de 49 % y posiblemente pueda mostrar mayores valores de IRT% aumentando la dosificación del compuesto. No obstante, muestra en el rango de dosis de 0 a 2 g/L un efecto casi nulo sobre la turbidez de la muestra y por ende el IRT% tiende a estar próximo a cero. Los

cristales de sábila presentan un máximo de IRT a una dosis de 1,4 g/L con un valor de 47%, en las demás dosis el % IRT no varía significativamente y el valor más bajo está en la dosis de 0,4 g/L, lo que implica que se comporta bien en todo el rango de dosis elegido y que una estandarización del proceso de coagulación podría mostrar resultados de IRT% mayores para dosis más bajas, lo cual desde el punto de vista industrial sería una ventaja para su utilización.

Los resultados obtenidos para el pH en el agua después del tratamiento se muestran en la Figura 8, no se observa una tendencia definida para ningún compuesto, lo interesante es que el agua mantiene después del proceso con todos los compuestos valores de pH en el rango de 6 a 7,5, el cual es adecuado para agua potable y evitaría realizar ajuste del pH después de la utilización del coagulante.

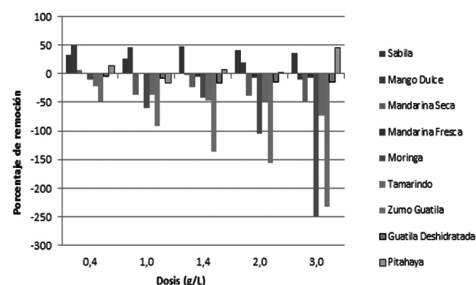


Figura 7. Valores de IRT% para cada compuesto de estudio

En la Figura 9 se muestran los valores obtenidos para la conductividad, estos presentan un aumento generalizado con el aumento de la dosis. Sin embargo, la pitahaya se mantiene en un rango constante, que implica que su transferencia de especies iónicas es casi nula. Los valores obtenidos no son superiores a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y teniendo en cuenta que el límite permitido para agua potable es de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los compuestos no contribuyen durante el proceso con iones o minerales y así confirma la formación de suspensiones y no soluciones acuosas.

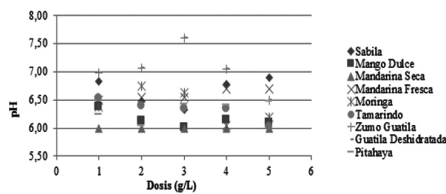


Figura 8: Resultados de pH para cada uno de los compuestos

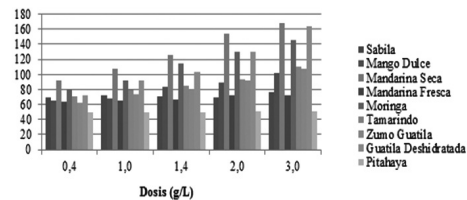


Figura 9: Conductividad para los diferentes compuestos analizados

Aunque hay diferencias numéricas entre los valores obtenidos para los cristales

de sábila, realizando un análisis estadístico de valor límite permitido para los dos valores de remoción de turbidez, se encontró que los valores de 45 y 47 son estadísticamente iguales por que se encuentran dentro de los límites de confianza aceptado para este conjunto de datos, el cual está comprendido entre 44 y 50%. Se establecen los cristales de sábila el compuesto a estandarizar por ser de más fácil acceso en la región a personas de recursos limitados, adicionalmente las condiciones de pH y conductividad se encuentran dentro del rango aceptable para la normatividad colombiana.

Tabla 5. IRT de los ensayos de estandarización de sábila

Dosis (g/L)	IRT	IRT	Dosis (g/L)	IRT	IRT	Dosis (g/L)	IRT	IRT
1	-2	5	2	35	-1	2	21	49
3	-49	3	4	11	16	4	-2	28
4	-24	-9	8	12	16	6	12	36
Ensayo	7	9	Ensayo	8	10	Ensayo	11	12
Dosis (g/L)	IRT	IRT	Dosis (g/L)	IRT	IRT	Dosis (g/L)	IRT	IRT
2	16	8	3	65	65	1	-46	12
4	26	13	3	41	41	2	-202	29
6	-7	11	3	31	47	3	-157	22

Estandarización de los cristales de sábila como coagulante

La estandarización de este compuesto se desarrolló variando diferentes parámetros según lo mostrado en la Tabla 1, y en la Tabla 5 se muestran los resultados de los ensayos realizados para aumentar el IRT% de este compuesto.

El ensayo 1 estableció que la disminución del IRT% es debido a la formación de una suspensión con el aumento de la velocidad de nucleación, esto puede indicar la presencia de un mecanismo de co-precipitación para el compuesto. El ensayo 6 muestra un valor de 49 %IRT. Sin embargo, el aumento del pH a valores de 11 inviable por la necesidad de incluir un agente para la estabilización en el rango 6 – 9. Los ensayos 8 y 10 presentan mejores resultados, mostrando un IRT de 65%. El ensayo 10 implica el aumento de pH a un valor de 11 y como se describió

anteriormente es inviable para el propósito del proyecto. Los demás ensayos que presentan valores positivos no son mayores a los encontrados en la etapa de definición del coagulante, por tal motivo son descartados como posibles alternativas para implementación del prototipo.

Fase 3 Diseño y Construcción de Prototipo del Sistema

El resultado de analizar los diferentes sistemas para potabilizar agua en el mundo y el conocimiento local sobre el tratamiento de agua, permitió el diseño de un sistema con tres compartimientos. En la Tabla 6 se muestra el nombre, las características y la función para cada uno de estos compartimientos. En la Figura 10 se muestra el diseño final del dispositivo para la potabilización de agua. De igual manera los compartimientos en esta figura están numerados según la Tabla 6.



Figura 10. Sistema de Tratamiento de Agua

Funcionamiento del Sistema

El agua se coloca en el sedimentador por medio de una manguera con una llave jardinera, la cual también hace parte del sistema, hasta completar 28 litros. Se coloca la dosis óptima de coagulante que es 3 g/L con una composición de 25 % de pitahaya y

Tabla 6. Componentes del sistema de tratamiento de Agua

No	Nombre	Descripción
1	Sedimentador	Es un recipiente plástico con tapa con capacidad de 30 litros, con una llave de polietileno con dos empaques plásticos para selle hidráulico. Aquí se llevan a cabo los procesos de coagulación, flocuación y sedimentación.
2	Caja de Filtrado	Una caja plástica con tapa de capacidad de 25 litros con 13 kg de arena sílice lavada. En este se realiza un proceso de pre-filtración para eliminar sólidos suspendidos remanentes.
3	Microfiltración	Consta de una vela o bujía cerámica de triple acción, realizando los procesos de microfiltración, adsorción con carbon activado y desinfección con plata coloidal.
4	Almacenamiento	Una caja plástica con tapa de capacidad de 25 litros con una llave de polietileno y dos empaques plásticos para sello hidráulico, donde se almacena el agua potable final.

75% de cristales de sábila, (aproximadamente 3 onzas). Luego, se agita de manera manual por un minuto con velocidad fuerte, después por tres minutos con una velocidad suave y por último se deja en reposo por 20 minutos, para un total de 24 minutos. Durante este proceso se reduce la turbidez del agua inicial en un 65%. El agua resultante se transvasa por medio de la llave plástica a la caja de filtración. En este compartimiento se deja que filtre el agua por gravedad, teniendo en cuenta el volumen de la arena, se pueden almacenar hasta 20 litros en este paso, la microfiltración se realiza de manera continua en este mismo compartimiento y tiene una tasa de filtración de 1,5 litros/ hora, a esta velocidad el tiempo necesario para cubrir el volumen de 20 litros es de 12 horas y media.

En el transcurso de la investigación se observó que la arena aporta turbiedad al

agua (alrededor de 86 NTU) debido principalmente a polvos minerales de la misma naturaleza de la sílice. Se determinó también que este material cerraba los poros de la vela cerámica de microfiltrado, disminuyendo la tasa de filtración, razón para realizar un pre-lavado de la arena antes de colocarla en el compartimiento de filtración.

Evaluación del sistema

Los resultados de los análisis realizados a las fuentes hídricas donde se toma el agua para las veredas en estudio se presentan en la Tabla 7. El IRCA debe encontrarse entre 0 y 5 para no generar riesgo para la salud humana. No obstante, de las muestras tomadas, solo la del grifo del Refugio en la vereda El Placer cumple con esta característica, el resto de aguas utilizadas para consumo en la región presentan un índice mayor a 50, lo que implica que no son aptas para el consumo

humano y ponen en riesgo la salud.

Por otra parte, los resultados de la evaluación del Índice IRCA para el sistema desarrollado en esta investigación se muestra en la Tabla 8. En esta tabla se observa un porcentaje de remoción total IRT mayor al 80% con un Índice de IRCA de 2, indicando que el agua después de pasar por el sistema de tratamiento, es potable y es

apta para el consumo humano y no presenta ningún riesgo para la salud.

El sistema de tratamiento de agua, incluyendo la dosis inicial de coagulante para su primer funcionamiento, presenta un costo final de \$141.616 pesos equivalente a 6,89 SMLVD, es decir que una familia necesitaría 7 días de trabajo para obtener el sistema y mejorar su calidad de vida.

Tabla 7. Parámetros para la determinación de la calidad del agua para las fuentes hídricas utilizadas como fuentes de agua potable en las veredas de Espinalito y El Placer

No.	Lugar	pH	Turbidez (NTU)	Color Aparente (UPTC)	Coliformes Totales (UFC)	Escherichia Coli (UFC)	IRCA
1	Río Cuya puente vía Arbeláez	6	63	67	50	20	100
2	Quebrada Michu, entrada vereda Michu	6	11	131	80	18	100
3	Escuela Espinalito	6	11	100	20	18	100
4	Finca el Shalom Vereda el Placer	6	25	78	10	2	100
5	Muestra el Refugio - Grifo de Cocina.	6	3	6	0	0	2

Tabla 8. Parámetros para la determinación de la calidad del agua para el sistema compacto de tratamiento de agua desarrollado

Parámetro	Unidad	1	2	3	Promedio	Riesgo Asignado
pH	Adim.	9,58	9,1	9,0	9,2	1,5
Conductividad	uS/cm	80,00	134,1	100,2	104,8	0,0
Turbiedad	NTU	0,78	4,0	2,6	2,5	0,0
Color Aparente	UPTC	5,00	1,0	7,6	4,5	0,0
Coliformes Totales	UFC	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
Escherichia coli	UFC	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
IRT	Adim.	85%	86%	86%	85%	-
IRCA						2,0

Fase 4. Evaluación Funcionamiento del Sistema

La entrega de los dispositivos se realizó como indica la Tabla 9. Durante las entregas, se socializó a la comunidad el propósito de la investigación y los riesgos inherentes en un proceso de investigación, así como una capacitación sobre el funcionamiento del sistema, el mantenimiento preventivo y correctivo. Los usuarios recibieron una manguera acoplada a una llave tipo jardín

para llenar el dispositivo con agua y de esta manera permitir un uso más sencillo.

Al realizar la etapa de seguimiento se encontraron las siguientes novedades:

- El sistema no filtra a una velocidad adecuada.
- El sistema no presenta filtración de agua.
- El agua presenta un sabor inicial extraño.

- La arena se encuentra contaminada con residuos de coagulante.
 - Al interior del núcleo familiar no se sabe cómo utilizar el dispositivo.
 - Las personas que recibieron el dispositivo son diferentes a las que ya lo tienen en casa, por ende existe alguna discrepancia de conceptos.
 - Hay dispositivos sin uso por desinterés de los usuarios.
- Dentro de estas situaciones existen temas puntuales asociados a problemas de calidad de los insumos utilizados en la fabricación del sistema de tratamiento de agua que no sobrepasan el 5% del total. Las inconsistencias se encuentran en falsas concepciones desarrolladas por la falta de atención y asistencia a las sesiones de capacitación y la tendencia inherente de la población colombiana a subvalorar los procesos de investigación,

Tabla 9. Número de dispositivos entregados por vereda

Vereda	Número de dispositivos	Fecha
Bethel	46	18/11/2014
Mesitas	2	12/11/2014
Sardinas	2	12/11/2014
La Unión	12	12/11/2014
Mosqueral	31	16/11/2014
Guayabal	2	12/11/2014
Espinalito	69	22/11/2014
El Placer	8	11/11/2014
Total Entregados	172	

aunque represente un aumento de calidad de vida. El desarrollo de algunos conceptos de uso y mantenimiento que son sencillos, no son puestos en práctica debido a factores como la falta de atención, de seguimiento a procedimientos y la resistencia al cambio que es muy marcada en este tipo de población.

Otro aspecto que disminuye el uso adecuado del dispositivo es la falta de comunicación asertiva entre los miembros familiares, haciendo más difícil la apropiación del sistema dentro de la comunidad. Los problemas observados son en gran medida por la aplicación inadecuada de las operaciones de mantenimiento expuestas por el grupo desarrollador en las capacitaciones.

3. Conclusiones

El cubrimiento promedio de agua potable en las veredas de

El Placer, Espinalito, La Unión, Mosquera y Bethel es de 21%, por debajo de la meta de la ONU para Colombia que en el 2015 es de 85% de cubrimiento en el sector rural.

Los conceptos de agua potable, limpia y para consumo no están claros en la población estudiada, la calidad de agua en la mayoría de los encuestados se percibe como no potable.

La cuantificación del IRCA para cada fuente de agua de la región de estudio muestra que el 80% presenta alto riesgo para el ser humano, y se verifica la condición del estudio de la Superintendencia de Servicios Públicos, donde en zonas de menos de 25.000 suscriptores la calidad del agua no es adecuada.

Es así como se determina que el mejor coagulante de la región es una mezcla de sábila y pitahaya de composición 75% y 25% respectivamente, en una dosis de

3g/L con un RTI % promedio de 65%. Los productos naturales se deben adicionar cortados y las velocidades óptimas de operación de nucleación y floculación son 100 rpm y 50 rpm respectivamente, así como un periodo de sedimentación de 20 minutos. La utilización de estos compuestos naturales no altera las propiedades de pH y conductividad del agua tratada.

Se desarrolló un sistema para el tratamiento de agua con la capacidad de tratar 20 litros en doce horas y media, con cinco procesos unitarios distribuidos en tres contenedores con componentes de fácil acceso a la comunidad, con un costo total de realización de \$141.616 pesos colombianos y con una caracterización IRCA del agua después del tratamiento igual a 2 que clasifica al sistema como seguro y sin ningún riesgo para la salud humana.

Generar un cambio cultural en las comunidades colombianas

requiere tiempos mayores a un mes de capacitación y seguimiento, para asegurar la transferencia de tecnología y conocimiento de manera adecuada que permita la sostenibilidad del sistema de tratamiento de agua.

4. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios para determinar el efecto de los niveles de color y turbiedad en el desempeño del sistema que permita ampliar la utilización de este en otros contextos.

5. Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias a la participación activa de los aprendices de las tecnologías de Agua y Saneamiento y Control Ambiental del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá, Regional Cundinamarca. Al SENA que financió el proyecto de

investigación por medio de SENNOVA. Este estudio no sería posible además, sin la colaboración de los presidentes de las juntas de acción comunal de las veredas El Placer, Espinalito, La Unión, Mosqueral y Bethel y la rectora de las escuelas presentes en estas veredas.

(Foro Social de Sao Paulo 2009). Sao Paulo Brasil.

Banco Interamericano de Desarrollo. Diagnóstico de la situación de los servicios de agua potable y saneamiento en relación con los Objetivos de Desarrollo del Milenio, 2007. Washington. Estados Unidos de América.

Bibliografía

Organización Naciones Unidas ONU (1948). Declaración Universal de los Derechos Humanos. Resolución de la Asamblea General 217 A. París – Francia.

Torres, C., & Mújica, O. J. (2004). Salud, Equidad y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. *Rev. Panam Salud Pública*, 15(6), 430-9.

Ducci, J. (2007). Acceso al agua potable, saneamiento y pobreza. IV Encuentro de Ex Presidentes de América Latina

Núñez, J., & González, N. (2006). Colombia en el contexto de las metas del milenio: Tropiezos, logros y el camino hacia adelante. Documento cede. Bogotá. Colombia.

Banco Interamericano de Desarrollo BID (2013). Agua potable, saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina y el Caribe.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2013). Servicios públicos de agua potable y saneamiento en

Colombia. New York. Estados Unidos de América.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE (2014). Estimaciones de población 1985 - 2005 y proyecciones de población 2005 - 2020 total municipal por área. Bogotá. Colombia.

Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - Incoder. 2012. Caracterización socio - demográfica del área de desarrollo rural de Sumapaz. Bogotá. Colombia.

Sanz.Joan. 2009. Aplicación de floculantes naturales a la producción de agua potable en procesos de decantación lastrada en la planta de los laureles. Tegucigalpa. Honduras.

Vargas, M; Romero L. 2006. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Tecnología en

Marcha19 (4): 37 - 41.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Resolución número 2115 de 22 junio 2007. Bogotá. Colombia.

Erazo. N. 2014. Filtro bioenergético purificador de agua. Bogotá Colombia. Disponible en [http:// filtrosbioenergeticos.blogspot.com](http://filtrosbioenergeticos.blogspot.com).

Hidalgo, M. D. V., Apella, M. C., Litter, M. I., & Blesa, M. A. (2002). Tecnologías económicas de potabilización Solar de Agua en Zonas Aisladas de Latinoamérica. Centro, 3(4), 5.

Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación. 3(1):19 -29.

Rodríguez S.; Muñoz R.; García O.; Fernández E. (2005); Empleo de un producto Coagulante

Natural para Clarificar Agua.
Revista CENIC. 36: Disponible
en: [http://www.redalyc.org/
articulo.oa?id=181620511037](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181620511037)

Arboleda, Jorge. 2000. Teoría
y práctica de la Purificación de
Agua. Barcelona.España.