

Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá

Development of a Natural Flocculant for the Treatment of Surface Water in Rural Households in the Municipality of Fusagasuga

JULIÁN ZAMUDIO PIÑERES

Ingeniero Químico, Instructor del Centro Agroecológico y Empresarial (Autor)
jazamudio77@misena.edu.co

JHON REINEL MORENO

Ingeniero Hídrico, Instructor del Centro Agroecológico y Empresarial

DARWIN IBARRA CHAMORRO

Instructor del Centro Agroecológico y Empresarial

ÓSCAR SOLAQUE

Coordinador de Investigación del Centro Agroecológico y Empresarial

ANA CAFIERO MONROY

Ingeniera Industrial, Instructora del Centro Agroecológico y Empresarial

EDUARDO GARZÓN PALOMINO

Instructor del Centro Agroecológico y Empresarial

Fecha de recepción: 11 de marzo de 2015

Fecha de evaluación: 18 de junio de 2015

Fecha de aceptación: 15 de agosto de 2015





Desarrollo de un floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales en hogares del sector rural del municipio de Fusagasugá

Resumen

Fusagasugá es un municipio en expansión dada la proximidad con Bogotá, sin embargo, el cubrimiento de los servicios básicos está disponible solamente en el casco urbano. En las zonas rurales de este municipio la población no cuenta con un suministro de agua potable, por tal motivo se estableció la necesidad de desarrollar un coagulante natural para realizar el tratamiento de agua cruda por parte de la población en cada una de sus viviendas, el cual sea de sencilla operación y fácil acceso. En primer lugar, se realizó una encuesta para establecer la calidad y disponibilidad del agua en las veredas de Espinalito y El Placer, las cuales pertenecen al municipio de Fusagasugá.

El trabajo aquí presentado constituye una revisión del desarrollo técnico del floculante natural para el tratamiento de aguas superficiales y los resultados de la recolección de información en cada una de las veredas. Este estudio pretende proporcionar los primeros pasos en la construcción de un sistema sostenible para la obtención de agua potable enfocado a comunidades de bajos ingresos.

Palabras clave: sostenibilidad, agua potable, tratamiento de agua, coagulante natural

Abstract

Fusagasugá is a growing municipality by his proximity to Bogota D.C. Nevertheless, the utilities coverage is only able at urban places. At the rural areas the population do not have drinking water access, in this way, it established the necessity to develop a natural coagulant to do the water treatment by the population by in-house process, it would have simple operation and easy access. At first it was applied a survey to know quality and availability water at the Espinalito and El Placer villages.

This work show the technical review of the natural flocculant development for superficial water treatment and results of the survey application. This study is trying to give the initial steps in the building of a sustainable system to get drinking water for low income communities.

Keywords: Sustainability, Potable Water, Water Treatment, Natural Flocculant.

1. Introducción

La información de cobertura de agua potable en la población colombiana, no está totalmente definida y no se encontró información actualizada confiable al respecto. Los datos más precisos son del año 1997 en donde se enuncia que en Colombia la disponibilidad de agua potable en zonas rurales es limitada, ya que el cubrimiento general es de un 78%, esta cifra no tiene en cuenta el estado de las redes y estructuras de distribución que de igual manera afectan la calidad final del agua potable.

Es así como en zonas geográficas donde las empresas presentan menos de 25.000 suscriptores, el servicio no es continuo y la calidad es difícil de asegurar durante todo el año (Ministerio de Desarrollo Económico Ministerio de Medio Ambiente. Superintendencia de Servicios Públicos, 1997), por otra parte el 70% de los municipios de Colombia presentan una población menor a 25.000 habitantes y generalmente estas comunidades son resistentes a los operarios especializados debido al aumento de tarifas en la prestación de servicios. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2013).

Fusagasugá es un municipio de 131.914 habitantes en el año 2014 y su población rural está alrededor del 40% de la población total, sin embargo es importante anotar que dicha población está organizada en diferentes veredas con un número menor a 25.000 habitantes cada una, lo que conlleva a la existencia de los problemas antes mencionados, de igual manera, el cubrimiento de acueducto en la zona rural de Fusagasugá fue alrededor del 30% (Instituto Colombiano de Desarrollo de Desarrollo Rural, 2012).

Las veredas de Betel, Sardinas, Mosquera, La Venta, La Isla, Mesitas, Espinalito, Placer, Guayabal, Bochica, la puerta y el Triunfo pertenecen al municipio de Fusagasugá y suplen su necesidad de agua por medio de sistemas de conducción conectados a diferentes fuentes acuíferas superficiales, pero estos sistemas no aseguran la calidad de agua que consumen los habitantes

de estas veredas, ya que en su mayoría corresponden a sistemas de riego del sector agrícola acondicionados para obtención de agua para consumo humano.

Una solución transitoria a esta deficiencia en el cubrimiento y la baja calidad del agua, es el desarrollo de sistemas de potabilización, sostenibles de bajo costo y operados por los mismos usuarios, los cuales se encuentren disponibles en las viviendas y permitan cumplir con los parámetros básicos de agua potable (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Para lograr la sostenibilidad del sistema, se hace necesario el desarrollo del mismo con componentes de fácil acceso a la población rural ya que en muchas ocasiones la utilización de otro tipo de sistemas (Olive, 2014) presentan discontinuidad por la falta de acceso a repuestos y consumibles por parte de los usuarios rurales.

En consecuencia y como respuesta a los problemas expuestos, como primer paso del desarrollo de un sistema sostenible para el tratamiento de agua, en este estudio se analiza la acción floculante de distintos productos naturales que se producen en la región del Sumapaz y de esta manera, establecer un proceso de coagulación que permita mejorar la calidad de agua consumida por las comunidades de cada una de estas veredas.

Este tipo de procedimientos no son nuevos y se han realizado sistemáticamente en diferentes tipos de sistemas de tratamiento con resultados satisfactorios en varias regiones de Centro América y Suramérica, por ejemplo, se han realizado comparaciones entre productos naturales y productos de origen sintético, donde se evidencia una menor eficiencia de los productos naturales en la remoción de material suspendido en el agua (Camareno *et al.*, 2006), de igual manera se ha evaluado la utilización de este tipo de compuestos en plantas de tratamientos para pequeñas comunidades, donde se concluye que el uso de estos productos disminuye ligeramente la

eficiencia financiera de este tipo de plantas, pero permite obtener una calidad de agua igual a la obtenida con productos sintéticos, mostrando la viabilidad de una solución sostenible para el funcionamiento de este tipo de instalaciones. (Sanz *et al.*, 2009).

El desarrollo de esta iniciativa está enfocado a que los aprendices del programa tecnólogo en Agua y saneamiento, y Control ambiental del SENA Fusagasugá, puedan aplicar sus conocimientos para la solución de problemáticas reales en la región, con la inclusión del concepto de responsabilidad social en cada uno de ellos.

2. Metodología

Los ensayos fueron realizados con el apoyo del laboratorio de agua del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá - Regional Cundinamarca y con la colaboración de los aprendices asociados al programa tecnológico en Agua y saneamiento, ficha número 663979 del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá - Regional Cundinamarca.

3. Desarrollo del coagulante natural

Los ensayos realizados a cada coagulante están descritos en la Tabla 1. Todos los métodos utilizados son métodos oficiales y siguen las recomendaciones de la ONAC para la validación de métodos.

Se realizaron estudios de precisión intermedia y exactitud para los parámetros de turbidez, conductividad y pH debido a la presencia de un patrón trazable al interior del laboratorio. Se realizaron cinco mediciones de cada parámetro, por cada analista en dos días distintos. La operación de cada uno de los métodos se realizó mediante la consulta de métodos oficiales (Arboleda *et al.*, 2000).

Para elegir los compuestos a analizar se realizó una consulta en el municipio para identificar los compuestos utilizados de manera artesanal en la clarificación de aguas y se comparó con los compuestos disponibles en la región con posible capacidad coagulante, de esta operación se definió los siguientes: cristales de sábila Nuez de semilla de mango dulce, Cascara de Mandarina, Fruto de guatila, Semilla de Tamarindo, Hojas y corteza de Moringa olifera, fruto de pitahaya.

4. Preparación de los compuestos

4.1. Cristales de sábila

La penca completa de sábila se corta en la raíz y se abre por la mitad, en donde quedan expuestos los cristales de la sábila incoloros. Estos cristales se retiran de la corteza de la penca con el uso de un bisturí y después son cortados finamente en cuadrados pequeños no mayores de tres milímetros de lado.

Tabla 1. Parámetros, equipos, y métodos utilizados.

Parámetro	Unidad	Equipo	Método
Color Aparente	Unidad de platino cobalto (UPC)	Colorímetro HACH DR 890	Colorimétrico
pH	Adimensional	Multiparámetro HD 40 HACH	Potenciométrico
Turbiedad	NTU	Turbidímetro 2100P	Turbidimétrico
Conductividad	uS/cm ²	Multiparámetro HD 40 HACH	Conductivimétrico

4.2. Nuez de semilla de mango dulce

La semilla de mango se abre por la mitad con un sincl y un martillo, al realizar esta acción queda expuesta la nuez de la semilla la cual es de color blanca.

Esta nuez se secó al sol durante cuatro días protegido de la lluvia y posteriormente se colocó en una estufa a 130°C por dos días. A continuación, se trituro la nuez con un molino tradicional casero marca Corona y el polvo resultante se usó como coagulante en los ensayos.

4.3. Cáscara de mandarina

La cáscara húmeda recién desprendida de la fruta, se corta en trozos pequeños de forma cuadrada, de tamaño no mayor a tres milímetros de lado. Estos trozos de cáscara son usados como coagulante en los ensayos.

Adicionalmente, la cáscara de mandarina se desprende del fruto y se coloca en bandejas de plástico a secar por el sol durante cuatro días, en los cuales pierde la humedad y el color de esta se torna naranja amarillento. Después se pone a 120 °C en la estufa por dos horas, esta cáscara se trituro con un molino casero marca Corona.

4.4. Fruto de guatila

Se retiró la cáscara al fruto de guatila dejando el fruto completo, este se trituro en un procesador de frutas marca Oster, se recogió el extracto resultante y se utilizó como coagulante en los ensayos.

En otro procedimiento, se extrajo del interior del fruto, por medio de un bisturí, la semilla de guatila la cual presentó un color amarillo pálido. Esta semilla se cortó en pequeños trozos cuadrados, de 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 casero marca Corona, como resultado se obtuvo un polvo fino que se utilizó como coagulante en el proceso de investigación.

4.5. Semilla de tamarindo

La semilla de tamarino se secó al sol protegida de la lluvia por cinco días, después de este tiempo, la semilla se dividió en varios trozos por medio de un sincl y un martillo. Posteriormente, se trituro en un molino casero marca Corona, obteniendo un polvo fino de color amarillo.

4.6. Hojas y ramas de moringa olífera

Las hojas y ramas de moringa olífera se secaron al sol protegidas de la lluvia por cinco días, después de este tiempo se tomaron las hojas y las ramas y se partieron en trozos más pequeños por medio de un martillo, después de este tiempo, se trituro en un molino casero marca Corona, obteniendo un polvo fino de color verde el cual se utilizó como coagulante en el ensayo.

4.7. Frutos de pitahaya

El material interno del fruto se separó de la cáscara, utilizando un bisturí y este se cortó en trozos cuadrados con un tamaño aproximado de cinco milímetros de longitud. Este material es el que se utiliza como coagulante en los ensayos.

5. 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 en ocho litros de agua, esta mezcla se agitó a 40 rpm por 15 minutos y después se dejó en reposo durante 10 minutos.

Después de esta operación, se adicionó un litro de esta mezcla y la cantidad de coagulante necesaria a cada una de las cinco jarras del equipo de jarras de tal forma que se obtuvo una dosis de coagulante de 0,4- 1,0- 1,4- 2,0 y 3,0 g/L.

El ensayo de floculación se efectuó en el equipo floctester, referencia 750a de Lovivond, con las siguientes condiciones técnicas: tiempo de nucleación de un minuto, con una agitación de 100rpm, seguido de un periodo de formación de floculos 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 se colocó una jarra de control sin coagulante. Al terminar el ensayo, se determinaron los parámetros de pH y conductividad con un multiparámetro marca HACH referencia HC40, 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:

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

6. Recolección de información de cubrimiento de agua potable en las veredas de Espinalito y El Placer en el municipio de Fusagasugá

Se desarrolló una encuesta de 5 preguntas para recolectar información primaria sobre el acceso al agua potable y la calidad de esta que tienen los habitantes

de las dos veredas Espinalito y El Placer. La aplicación de encuestas a cada vivienda, se realizó en dos sesiones, los días 17 y 24 de octubre de 2014 a cada jefe de hogar. La jornada de recolección de información, se concertó con la junta de acción comunal de cada vereda.

7. Resultados y discusión

7.1. Desarrollo de floculante natural

En la Tabla 2 se muestran los resultados de estudio de precisión intermedia y exactitud, obtenidos por parte del grupo de aprendices asociados al proyecto.

En la Figura 1 se muestran los valores obtenidos para el índice de remoción de cada uno de los compuestos analizados. Cuando la turbidez final es mayor a la inicial, da como resultado un valor negativo IRT % negativo, este comportamiento indica la formación de suspensiones estables en agua por parte del compuesto analizado.

Los compuestos que mostraron mayor IRT% fueron los cristales de sábila, la nuez de la semilla de mango y la pitahaya. La nuez de la semilla de mango, presentó a bajas concentraciones una alta acción floculante con valores de alrededor del 50 para IRT%, sin embargo, a altas concentraciones tiende a formar suspensiones con el agua y disminuye su acción como coagulante evidenciado en la disminución de los valores de IRT%. Por otra parte, la pitahaya presenta muy buen comportamiento

Tabla 2. Parámetros de control estadístico para los analistas del proyecto.

	Turbidez	Conductividad	pH
Unidad	NTU	uS/Cm	Adimensional
Valor Objetivo	6,00	20,00	7,00
Promedio	5,95	20,03	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

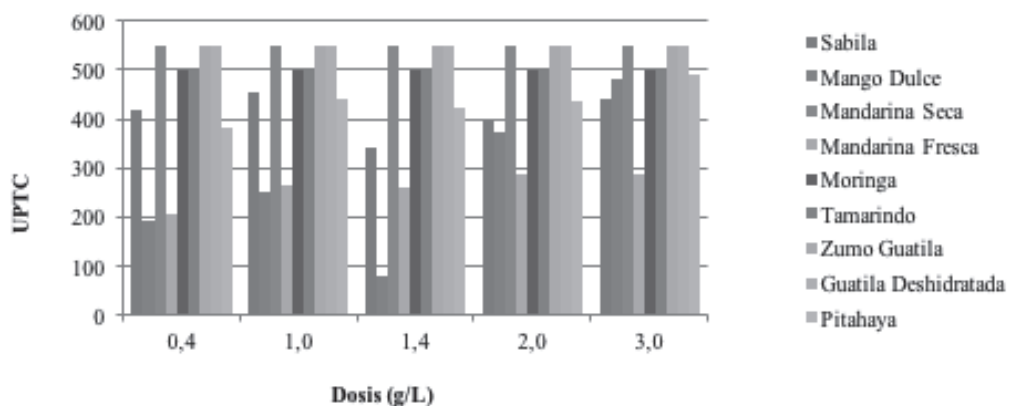
No se observó alguna tendencia definida para algún compuesto en particular, el agua se mantiene después del proceso con todos los compuestos dentro del rango de 6 a 7,5, el cual es adecuado para agua tratada y evita la utilización de agentes químicos para el ajuste del pH después de la utilización del coagulante. En cuanto a los cristales de sábila, estos presentaron un rango de operación entre 6,5 y 7,5, el cual es está dentro del rango legal aceptado en la regulación colombiana vigente (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) en agua para consumo humano.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para el color aparente después de la aplicación de cada uno de los compuestos. Este parámetro sobrepasa los límites permitidos para agua potable, el cual está establecido en 15 NTU, con todos los

Para los compuestos de semilla de mango, la pitahaya y los cristales de sábila que muestran los mejores IRT% y que por lo tanto no forman suspensiones estables, los altos valores de color están asociados a la solubilización de sustancias en el agua partir de los compuestos naturales que pueden transmitir sabores no deseados en el agua tratada.

En la Figura 4 se muestran los valores obtenidos para la conductividad del agua después de procesada, los valores de conductividad presentaron un aumento generalizado con el aumento de la dosis. No obstante, la pitahaya mostró los valores más constantes entre las diferentes dosis aplicadas, indicando una transferencia de especies iónicas prácticamente constante. Los cristales de sábila evidenciaron un aumento proporcional entre la dosis aplicada y la conductividad, indicando la presencia de sustancias solubles

Figura 3. Color aparente para los diferentes compuestos usados como floculantes.



compuestos analizados, cabe anotar que dentro del grupo de compuestos analizados, la cáscara de mandarina fresca y la nuez de la semilla de mango, presentaron los valores mas bajos. No es posible definir una tendencia en los resultados obtenidos, no obstante, una explicación para estos resultados es la formación de suspensiones durante la realización de los ensayos provocando una interfirencia en el método de análisis utilizado, por ende en los resultados obtenidos.

que se transfieren al agua durante el proceso de tratamiento. Los valores obtenidos para todos los compuestos no superan los 200 us/cm, lo cual teniendo en cuenta el límite permitido para agua potable de 1000 uS/cm, el uso de cualquiera de los compuestos estudiados no provoca el incumplimiento de la normatividad vigente en lo referente a este parámetro.

Figura 4. Conductividad para los diferentes compuestos usados como floculantes.

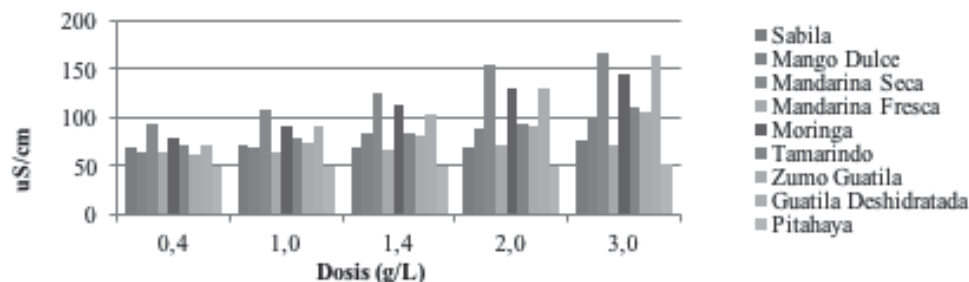


Tabla 3. Comparación de parámetros analíticos para los dos mejores ensayos de compuestos como coagulantes naturales.

Dosis (g/L)	Temperatura (C)	pH	Color aparente (UPTC)	Conductividad (uS/cm)	% Remoción	Compuesto
Especificación	N.A	6,5 - 9	max. 15	max. 1000	-	
3,0	23	6,47	492	51,5	45	Pitahaya
1,4	23	6,53	340	70,4	47	Sábila

En la Tabla 3 se muestra la comparación de los dos valores más altos de IRT% encontrados en los ensayos, los cuales corresponden a una dosis de sábila de 1,4 g/L y una dosis de de 3,0 g/L de pitahaya. En la Tabla 3, se muestran los resultados encontrados para estas dos dosis y la especificación en agua potable según la normatividad colombiana vigente.

Aunque hay diferencias numéricas entre los valores obtenidos, 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 porque se encuentran dentro de los límites de confianza aceptado para este conjunto de datos, el cual está comprendido entre 44 y 50%. Estadísticamente no hay diferencia en utilizar cualquiera de los dos compuestos, sin embargo, los cristales de sábila son de mas fácil acceso en la región a personas de recursos limitados, de igual manera las condiciones de pH y conductividad después de tratar con cualquiera de los dos compuestos se

encuentran dentro del rango aceptable para la normatividad colombiana.

8. Levantamiento de información de cubrimiento y calidad del agua potable en las veredas de Espinalito y El Placer pertenecientes al municipio de Fusagasugá

En la vereda El Placer se entrevistaron 74 viviendas y en la vereda de Espinalito 70 viviendas, para un total de 144 domicilios encuestados que corresponden al 80% de los domicilios presentes en las veredas. Un aspecto a resaltar es la distancia de 2 km que separa las dos veredas, dando una percepción de la cercanía entre ellas.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestren los resultados de la encuesta realizada en cada una de las veredas objeto de estudio.

Figura 5. Disponibilidad de servicios públicos por vereda.

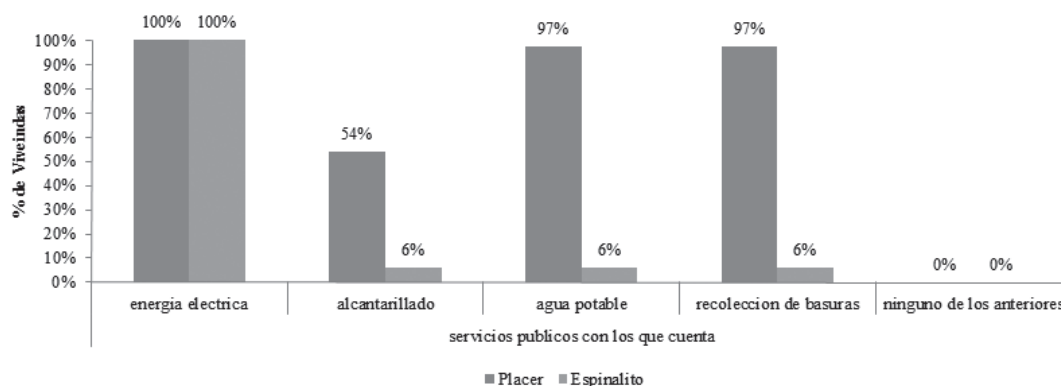


Figura 6. Percepción de la calidad del agua por vereda.

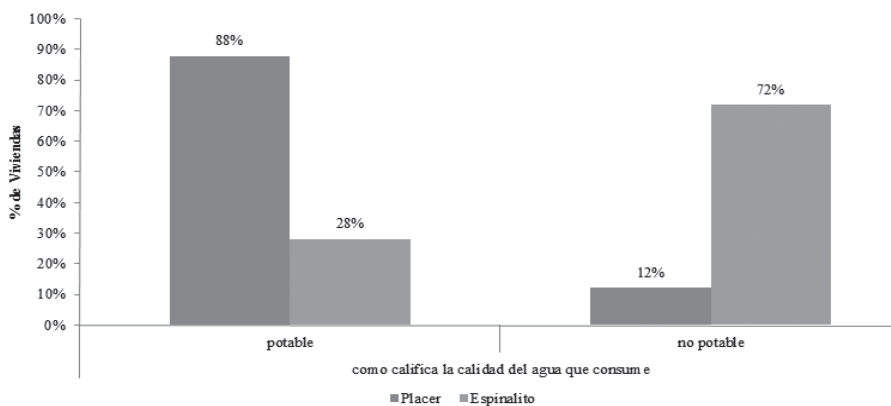
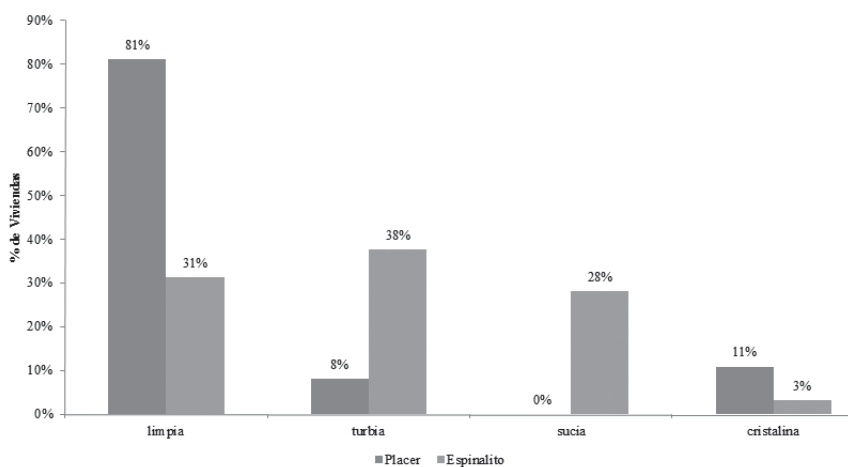


Figura 7. Tipo de agua consumida por vereda.



La diferencia entre la vereda de Espinalito y El Placer supera el 15% en los aspectos relacionados con el suministro y calidad del agua para consumo. Se observó que aunque la vereda El Placer tiene un 97% de cubrimiento, solo el 88% de las viviendas

perciben la calidad del agua de consumo como potable, así como un 92% de viviendas presentan agua entre limpia y cristalina. En la vereda Espinalito, el cubrimiento solo alcanza el 6% y sin embargo, el 28% de las viviendas encuestadas percibe su agua como

potable, eso es un indicio de la utilización de procedimientos artesanales para obtener agua potable, de igual manera, el 64% de las viviendas presentan agua sucia o contaminada como fuente de agua para el consumo, lo que constituye un riesgo para la salud de la población de estas viviendas.

9. Conclusiones

Después de analizar 6 compuestos distintos, la pitahaya en una dosis de 3 g/L y los cristales de sábila en una dosis de 1,4g/L, presentan las mejores condiciones como coagulantes naturales, ya que los porcentajes de remoción son estadísticamente iguales para ambos compuestos, debido a que presenta un IRT% de 47 a una velocidad de nucleación de 100rpm, durante 60 segundos y una velocidad de coagulación de 50rpm, por un periodo de 20 minutos, seguido de un tiempo de sedimentación de 15 minutos. Así mismo los parámetros de pH y conductividad del agua tratada permanecen dentro de los límites permitidos por la legislación colombiana.

Los cristales de sábila se elijen como la mejor opción para utilizar como coagulante natural para realizar el tratamiento de aguas crudas en la municipio de Fusagasugá, no por que presente alguna diferencia técnica con respecto a la pitahaya. Se elijen estos porque la sábila es mas barata y se produce en mayor proporción en la región, siendo así un compuesto de más fácil acceso que la pitahaya para personas de bajos ingresos, condición inicial que se establecio para el desarrollo del estudio. De esta manera, los cristals de sábila se constituyen en una alternativa sostenible para el tratamiento de agua superficial en la zona rural del municipio de Fusagásuga.

En la vereda de El Placer, existe un 11% de viviendas que presentan cobertura pero que no tienen una percepción adecuada sobre la calidad del agua. Por

su parte, en la vereda de Espinalito, el 94% de las viviendas no presentan cubrimiento de agua potable, por ende, en total hay un potencial de 74 viviendas correspondiente al 51% de las viviendas encuestadas, que se encuentran disponibles para la evaluación del funcionamiento del coagulante natural y de un sistema compacto familiar para la tratamiento de agua superficiales.

10. Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias a los recursos asignados por parte de la subdirectora, la doctora Marlene Torres, la participación activa del instructor Eduardo Garzón Palomino y los aprendices de las tecnologías de agua y sanamiento y control ambiental del Centro Agroecológico y Empresarial de Fusagasugá - Regional Cundinamarca. Así como a la línea SENNOVA que finacia el proyecto investigación. Igualmente, este estudio no habría sido posible sin la colaboración de los presidentes de las juntas de accián comunal de las veredas El Placer y Espinalito, así como las rectoras de las escuelas presentes en estas veredas.

11. Bibliografía

- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la Purificación de Agua*. Barcelona. España.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). *Servicios públicos de agua potable y saneamiento en Colombia*. New York. Estados Unidos de América.
- Erazo, N. (2014). *Filtro bioenergético purificador de agua*. Bogotá, Colombia. Disponible en <http://filtrosbioenergeticos.blogspot.com>

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

Ministerio de Desarrollo Económico, Ministerio de Medio Ambiente. Superintendencia de Servicios Públicos. (1997). *Plan regional de inversiones en ambiente y salud*. Serie Análisis No. 11. Bogotá D. C. Colombia.

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

Sanz, J. (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. y Romero, L. (2006). *Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica*. Tecnología en Marcha 19 (4): 37-41.