

**Determinación de los requerimientos de  
potabilización para un sistema de agua en la  
Escuela Agrícola Panamericana Zamorano**

**Betzy Yorlenis De León Beitia  
Carmelo Martínez Baker**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**  
Noviembre, 2013

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Determinación de los requerimientos de potabilización para un sistema de agua en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Betzy Yorlenis De León Beitia  
Carmelo Martínez Baker**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2013

# **Determinación de los requerimientos de potabilización para un sistema de agua en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano**

Presentado por:

Betzy Yorlenis De león Beitia  
Carmelo Martínez Baker

Aprobado:

---

Erika Tenorio, M.Sc.  
Asesora principal

---

Laura Suazo, Ph.D.  
Directora  
Departamento de Ambiente y Desarrollo

---

Victoria Cortés, M.Sc.  
Asesora

---

Raúl Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

# **Determinación de los requerimientos de potabilización para un sistema de agua en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano**

**Betzy Yorlenis De León Beitia  
Carmelo Martínez Baker**

**Resumen:** Los suministros de agua para consumo deben garantizar la salud de quienes la consumen. Debido a esto se realizó un estudio para caracterizar las fuentes y evaluar los procesos necesarios para potabilizar el agua mezclada de dos nuevas fuentes en la Escuela Agrícola Panamericana: la microcuenca Santa Inés ubicada al sur del valle del Yeguaré y las fuentes actuales de la Reserva Biológica Uyuca. Se realizaron análisis de la turbiedad, el color, el pH, el hierro, el aluminio y el manganeso en cada fuente y en la mezcla de ambas fuentes en una relación 50:50. Se evaluaron los procesos de aireación y precloración para la remoción de los metales y se realizaron ensayos de prueba de jarras con sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  para determinar la eficiencia en remoción de los metales, la turbiedad y el color en la mezcla. Se encontró que los procesos de aireación y precloración no son eficientes en la remoción de los metales debido al pH bajo del agua cruda. En la prueba de jarras se obtuvieron resultados eficientes en remoción de color y turbiedad con dosis óptimas de 10 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  para turbiedades menores de 50 UNT y color menor a 40 mg/L Pt-Co. Los procesos de coagulación y floculación no son eficientes en la remoción de los metales en el agua.

**Palabras clave:** Aereación, color, metales, prueba de jarra, sulfato de aluminio, turbiedad.

**Abstract:** Drinking water supplies must provide safe water for human consumption. A study was conducted to characterize water at the sources and evaluate the processes needed for potabilization of a mixture of two water sources at the Pan-American Agricultural School. The sources are Santa Inés, which is a watershed located at south of the Yeguaré Valle, and the current source from the Yeguaré Biological Reserve Uyuca. Analysis of turbidity, color, pH, iron, aluminum and manganese were carried out in each source and in mixture from both sources in a 50:50 ratio. Aeration and chlorination processes were evaluated for the removal of metals and jar tests with aluminum sulfate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  were performed to determine the efficiency in removal of metals, turbidity and color in the mix. As a result, it was found that chlorination and aeration processes are not efficient in the removal of metals because of the low pH of the raw water. The results obtained from the jar test showed that the coagulant was efficient in removing color and turbidity for waters with <50 NTU turbidity and color <40 mg/L Pt-Co with optimal doses of 10 mg/L  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . However, coagulation and flocculation processes are not efficient in the removal of metals in the water.

**Key words:** Aereation, aluminum sulfate, color, jar test, metals, turbidity.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>13</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>14</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>15</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>17</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Límite admisible de las características físico-químicas evaluadas en el estudio de la mezcla de agua cruda de Uyuca y Santa Inés. ....	5
2. Resultados de la caracterización físico-química del agua en los sitios de captura de agua en Zamorano en el período de mayo-agosto de 2013 (n=12). ....	8
3. Valores promedio de la eficiencia en la remoción de metales mediante tres tratamientos de aireación en mezcla de agua cruda en Zamorano. Mayo, 2013 (n=9). ....	10
4. Concentraciones iniciales y finales de los metales en la mezcla de agua cruda (Uyuca y Santa Inés) con la aplicación de dosis óptima en la remoción de turbiedad y color a través de $Al_2(SO_4)_3$ en las pruebas de jarras. ....	12

Figuras	Página
1. Localización de los sitios de muestreos de agua cruda en la Reserva Biológica Uyuca y la Microcuenca Santa Inés. ....	2
2. Diagrama de cajas de los valores de pH en las tres fuentes analizadas en los meses de junio-julio en Zamorano, 2013. ....	9
3. Promedio de los resultados de los ensayos de prueba de jarras para diferentes ámbitos de turbiedad inicial: Tb0 (15-20 UNT) n=4, Tb0 (20-25 UNT)n=3, Tb0 (30-35 UNT) n=1 ....	11
4. Resultados promedio de las prueba de jarras en diferentes ámbitos de color inicial. Color (0-10 Pt-Co) n=4, color (21-30 Pt-Co) n=3, color (> 30 Pt-Co) n=1 ....	12

1.	Diagrama de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del hierro (Fe) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipos de tratamientos. ....	17
2.	Diagrama de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del manganeso (Mn) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipo de tratamientos.....	17
3.	Diagramas de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del aluminio (Al) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipos de tratamiento.....	18
4.	Diagramas de cajas de los valores de turbiedad (UNT) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), en los meses de mayo a julio en las tres fuentes (n=12). ....	18
5.	Diagrama de cajas para los valores de color de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), en los meses de mayo a julio en las tres fuentes (n=12). ....	19
6.	Características físico-químico del agua cruda de las tres fuentes evaluadas. ....	19
7.	Caracterización físico-químico del agua cruda de la mezcla (Uyuca y Santa Inés) después de la aireación.....	20
8.	Caracterización físico-químico del agua cruda de las tres fuentes. ....	21
9.	Cuadro de eficiencia en la remoción de los metales de la mezcla de agua cruda (Uyuca y Santa Inés) de los tratamientos en prueba de aireación.....	22

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua representa uno de los elementos básicos para el soporte de la vida. En la actualidad los abastecimientos seguros de agua constituyen una preocupación mundial debido al crecimiento poblacional y a la contaminación. La calidad del agua destinada a consumo es una prioridad en todos los países del mundo, tanto desarrollados como en desarrollo debido a su repercusión en la salud de la población (OMS 2013). El agua potable para el consumo humano es aquella cuya ingesta no causa efecto nocivo para la salud y en la cual las características microbianas, químicas, físicas y biológicas cumplen con las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) con los patrones nacionales de calidad de agua que establecen las regulaciones nacionales (Silva 2013). El agua potable asegura la inocuidad mediante la eliminación y la reducción a concentraciones mínimas de algunos de los componentes que pudieran ser peligrosos para la salud humana (OMS 2013).

La calidad del agua se mide a través de la evaluación de sus características físicas, químicas y biológicas. Los parámetros de calidad de agua son diversos y su evaluación permite conocer el grado de contaminación o pureza del agua y determinan si es apta para diferentes usos. El adecuado tratamiento del agua es una alternativa para poder llevarla a condiciones aceptables cuando por condiciones naturales o por contaminación de origen antropogénico, su consumo puede generar problemas a la salud de los usuarios. Para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad que aseguren un consumo saludable y para satisfacer a los consumidores en cuanto a parámetros estéticos (sabor, olor, color) es necesario, en algunos casos, la aplicación de tecnologías que permitan adecuarse de forma específica a las particularidades de las fuentes disponibles que se van a tratar.

La Escuela Agrícola Panamericana (EAP) se abastece de manantiales localizados en las faldas de la Reserva Biológica de Uyuca, la cual cuenta con 11 estructuras para captación de agua, nueve de las cuales se encuentran agrupadas bajo el nombre El Benque y el resto corresponde a los manantiales denominados Agua Amarilla. Adicionalmente la EAP, obtiene agua de una fuente superficial de la microcuenca Santa Inés, la cual también abastece a las comunidades aledañas (Figura 1). El agua cruda proveniente de la Reserva Biológica Uyuca se caracteriza por su claridad y baja carga bacteriana, sin embargo, contiene altas concentraciones de metales como aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn) que en ocasiones se encuentran por encima del valor máximo permisible por la normativa internacional. De igual forma se han medido valores de pH ácidos que tampoco cumplen con la normativa (Enríquez 2012). En estudios realizados en el 2011 se encontraron que por su parte, el agua cruda de Santa Inés se caracteriza por su color y turbiedad elevados durante la mayor parte del año (Pineda 2011). Los valores de turbiedad y color fueron de 82.7 UNT y 309 Pt-Co respectivamente y valores máximo de 109.2

UNT y 326.3 Pt-Co. Por su parte en la Reserva Biológica de Uyuca se han encontrado valores de pH tan bajos como 4.3 en El Benque y 5.0 en Agua Amarilla. En ambas fuentes los valores se encontraban por encima de los límites permisibles de aluminio (Enríquez 2012).

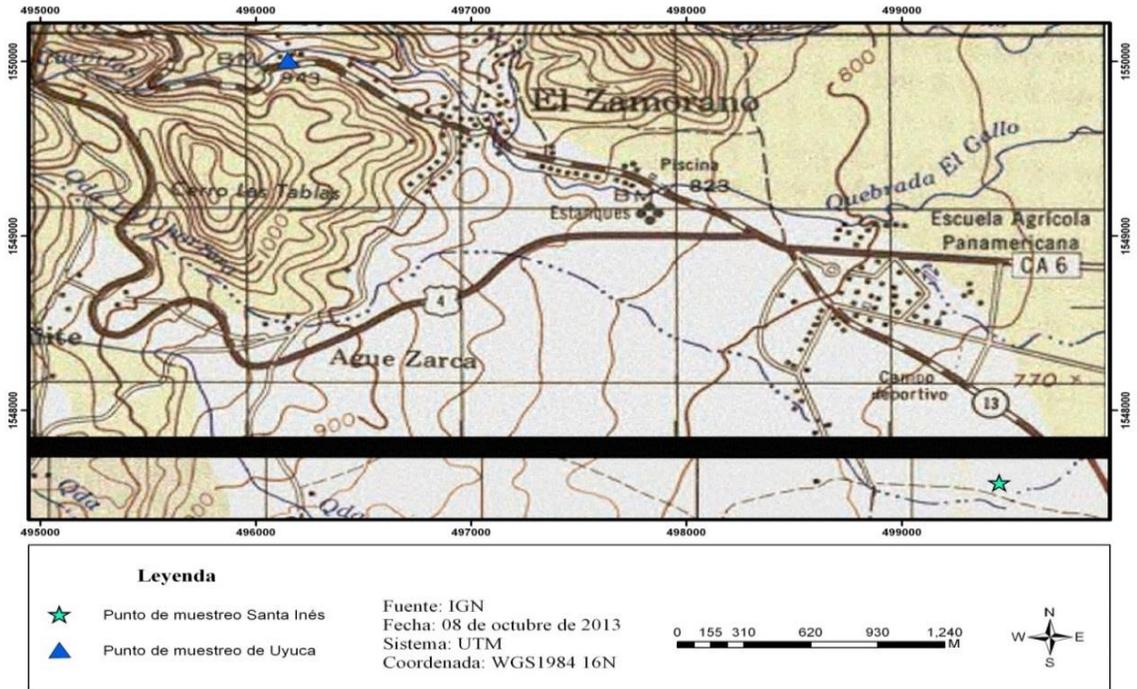


Figura 1. Localización de los sitios de muestreos de agua cruda en la Reserva Biológica Uyuca y la Microcuenca Santa Inés.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

La instalación de una planta potabilizadora de agua para consumo que combine ambas fuentes (microcuenca Santa Inés y la Reserva Biológica Uyuca) es una oportunidad dentro del campus de Zamorano para garantizar la disponibilidad a futuro y mejorar la calidad de las fuentes a mediano y largo plazo. La caracterización de las fuentes y de la mezcla de ambas de forma simultánea representa un insumo necesario para el diseño de los requerimientos de la infraestructura y los procesos en una nueva planta potabilizadora. Este diseño, deberá considerar el incremento de los valores en algunos indicadores de la calidad del agua en la época lluviosa como la turbiedad, el color, y la eficiencia esperada de los procesos tradicionalmente utilizados.

Como parte del presente estudio, se llevó a cabo durante un período aproximado de cuatro meses, una caracterización físico-química de las dos fuentes de agua de Zamorano y de la mezcla de estas fuentes como insumo para el diseño de una planta potabilizadora. Se caracterizaron periódicamente las diferentes fuentes y se evaluaron los procesos de aireación para la reducción de los metales en el agua cruda y los procesos de clarificación mediante el uso de coagulantes a través de ensayos de pruebas de jarras en mezclas de agua de ambas fuentes.

## Objetivos

- Realizar una caracterización físico-química del agua cruda de la nueva planta potabilizadora durante la época seca y lluviosa del año 2013.
- Evaluar la eficiencia de la implementación de un sistema de aireación para la remoción del hierro, el manganeso y el aluminio en la nueva planta potabilizadora.
- Determinar mediante ensayos de pruebas de jarras cuál es la dosis óptima para la remoción de la turbiedad, el color y los metales en la mezcla de las fuentes.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron caracterizaciones físico-químicas en agua cruda de la actual fuente de abastecimiento de la Reserva Biológica Uyuca, y de la microcuenca Santa Inés, tanto en la época seca como en la época lluviosa. La recolección de muestras de la microcuenca Santa Inés se realizó en un punto de la red de conducción que conecta agua desde una obra de captación en el río Santa Inés hasta la laguna conocida como Monte Redondo. En la fuente de Uyuca la toma de muestras de agua cruda se realizó en dos llaves que se encuentran ubicadas en las tuberías primarias del sistema de captación de agua para la EAP. La primera llave corresponde al arroyo El Benque y la segunda al grupo de arroyos denominados Agua Amarilla. Debido a que no existe un punto de muestreo que mezcle ambas fuentes previo a su entrada a los tanques de almacenamiento, se realizaron muestreos separados y se mezclaron las aguas en una relación 9:1 (Uyuca) de acuerdo a los aportes de caudal al sistema de agua. El agua cruda que será el insumo en la planta potabilizadora considerada en el presente estudio consistió en la mezcla de ambas fuentes: Uyuca y Santa Inés, en una relación de 50:50, según los parámetros establecidos por la Dirección de Planta Física de Zamorano.

Se realizaron doce muestreos para caracterizar las fuentes. Muestras de 3.7 litros fueron recolectadas en recipientes de polietileno debidamente rotulados y lavados con agua destilada y ácido clorhídrico 6N y enjuagados tres veces con agua de las muestras previo a su recolección final. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio el día de su recolección, y mantenidas a  $<4^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

En las muestras crudas y tratadas se analizó el pH, la turbiedad, el color y algunos elementos metálicos totales (Fe, Al y Mn). La temperatura y el pH fueron medidos *in situ* mediante el uso de un potenciómetro marca Oakton®. El pH ideal para agua potable es de 6.5 y 8.5 (Orellana 2005). Los valores de pH menores a 6.5 se encuentran en aguas ácidas. En una planta potabilizadora el proceso de desinfección del agua se ve limitado por el pH del agua. Al agregar cloro al agua se reduce su alcalinidad: 1mg/L de cloro en el agua neutralizará no menos de 0,7 mg/L de alcalinidad como carbonato de calcio y puede neutralizar hasta 1,4 mg/L de carbonato (Barrenechea y Vargas 2004). Las aguas ácidas son corrosivas y promueven la solubilidad de los metales (Barrenechea 2004). Un pH mayor a 8.5 no se considera dañino para el ser humano, sin embargo, altera el sabor del agua (World Health Organization 2006) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Límite admisible de las características físico-químicas evaluadas en el estudio de la mezcla de agua cruda de Uyuca y Santa Inés.

<b>Parámetro analizado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor máximo admisible</b>	<b>Métodos de análisis</b>
pH	mg/L	6.5 - 8.5	Electrométrico, potenciómetro.
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	15	Comparación visual, espectrofotométrico.
Turbiedad	UNT	5	Nefelométrico.
Fe	mg/L	0.3	Colorímetro (Fenantrolina), absorción atómica
Al	mg/L	0.2	Colorímetro con (cianuro de cromo), absorción atómica.
Mn	mg/L	0.5	Colorímetro con (persulfato de amonio), absorción atómica.

Fuente: Orellana 2005.

El análisis de turbiedad se realizó mediante el método nefelométrico con ayuda de un colorímetro DR/890, marca HACH®. Esta medición ayuda a establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda y evaluar la efectividad de los procesos de coagulación y sedimentación para así determinar la potabilidad del agua (Romero 2009). La turbiedad es la propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz y puede ser causada por la variedad de materiales en suspensión de diferentes tamaños. Se origina de coloides y partículas en suspensión como, arcilla, limo y tierra fina (OPS 2005). El límite permisible de turbiedad es 5 UNT para agua de consumo humano, según la Norma Técnico para la calidad de agua potable en Honduras.

Para la realización de los análisis de metales las muestras no filtradas se preservaron con ácido nítrico grado metal (HNO<sub>3</sub>) hasta obtener un pH < 2 hasta su análisis. Inmediatamente previo a su análisis, 100 mL de la mezcla fueron digeridos con 5 mL de ácido clorhídrico (HCl) 6N. Las muestras se colocaron en una plancha térmica a una temperatura de 95 °C por un periodo aproximado de una hora treinta minutos hasta reducir el volumen entre 15-20 mL. Posteriormente el pH de las muestras digeridas se ajustó a un pH de 4 con una solución estándar de hidróxido de sodio (NaOH) 5N. Finalmente las muestras se aforaron en un matraz de 100 mL con agua destilada para su posterior análisis. Los metales se analizaron a través del método colorimétrico DR/890 de HACH® con reactivos específicos para cada metal. FerroVer Method (Method 8008) para hierro total, PAN Method (Method 8049) para análisis de manganeso y Aluminon Method (Method 8012) para análisis de aluminio.

El color del agua se debe principalmente a la materia orgánica presente, minerales en suspensión o en estado coloidal. La causa principal del color en el agua se debe a la presencia de hierro y manganeso coloidal o partículas en suspensión (Romero 2009) y ha sido identificado como una característica que deberá ser tratada en la fuente de Santa Inés. El color verdadero del agua se analizó con la ayuda del colorímetro HACH después de haberle removido las partículas en suspensión a través de filtración con membranas de acetato de celulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  de poro.

Se evaluaron los procesos de aireación para la remoción de los metales en las muestras y se evaluaron los cambios particularmente el hierro, el aluminio y el manganeso. Este es un proceso en el cual se promueve el contacto directo del agua con el aire incrementando así el contenido de oxígeno. Para promover la oxidación de minerales disueltos como el hierro y el manganeso y transformarlo en estados precipitables (OMS 2009). Este proceso modifica las concentraciones de los metales o las sustancias volátiles que estén contenidas en ella y forma precipitados que pueden ser eliminados por decantación y filtración (Romero 2006). El hierro es soluble, por ejemplo, estado ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) se oxida en presencia de aire a la forma insoluble férrica ( $\text{Fe}^{3+}$ ) la cual es precipitada (Gray 1996). Junto con el proceso de aireación se evaluó la utilización de cloro como agente oxidante adicional para la remoción de Fe y Al en el agua a ser aireada. Tanto el cloro como el oxígeno oxidan los metales y propician su precipitación. Adicionalmente se utilizó un blanco de agua destilada en la aireación para descartar adiciones de metales en el aireador.

Para simular en pequeña escala el proceso de aireación en planta, se llevó a cabo la construcción de un aireador de cascada tipo escalera de madera cubierta con plástico y compuesto de seis gradas. Cada grada se construyó con una altura de 30 centímetros y un ancho de 25 centímetros divididos en dos partes, una de las divisiones para el agua cruda tratada con cloro y la otra para ser utilizada para el agua sin cloro. La altura total del aireador fue de 1.80 metros.

Se realizaron tres muestreos, en cada uno de ellos se recolectaron varias muestras de aproximadamente 3.8 litros, las cuales fueron divididas en nueve alícuotas de 2,000 mL. Se realizaron tres tratamientos: i) aireación, ii) aireación y adición de 0.05 mg/L de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), y iii) aireación más adición de 0.15 mg/L  $\text{NaClO}$ . Se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento por muestreo. Los parámetros que se evaluaron en estos tratamientos fueron el pH, la turbiedad, el color y los metales (Fe, Al y Mn). La velocidad aproximada de la aireación simulada fue de 10 L/min. El agua se hizo caer en capas delgadas por cada uno de los escalones del aireador para lograr así tener una completa y efectiva aireación.

**Clarificación y remoción de los metales.** Se llevó a cabo una segunda serie de nueve muestreos entre los meses de mayo y julio para evaluar la eficiencia de la utilización de sulfato de aluminio  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  en la clarificación y remoción de los metales de la mezcla cruda. Para ello se realizaron dos repeticiones por muestreo de ensayos de prueba de jarras con el fin de simular lo que sucedería en la planta potabilizadora con el uso del coagulante a diferentes dosificaciones. El  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  crea agregados que remueven la materia orgánica e inorgánica que no sedimenta rápidamente, a la vez elimina bacterias, virus u otros

organismos susceptibles (OPS 2005). El ensayo de prueba de jarra permite evaluar de una manera más rápida la acción que ejerce el coagulante sobre el proceso de clarificación y los efectos de la variación de los parámetros en la planta como son el tiempo y la velocidad de agitación (Suárez y Trujillo 2011). La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: la floculación y la sedimentación. El coagulante promueve la neutralización de las cargas negativas de las partículas coloidales las cuales vencen la fuerza de gravedad y se precipitan (Barrenechea 2004).

El  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  por sus propiedades físico-químicas es utilizado principalmente como agente coagulante y floculante primario en las plantas de tratamiento de agua potable para el consumo humano (Romero *et al.* 2007). Una vez agregado y mezclado el coagulante al agua, las partículas pequeñas coaguladas son puestas en contacto una con otra, mediante procesos de agitación lenta y prolongada. La floculación es el proceso durante el cual las partículas presentes se aglomeran. Proceso en el cual las partículas aumenta su tamaño y su densidad para luego sedimentarse (Romero 2006). Luego de todo el proceso se obtiene agua con menor color, turbiedad y menor concentración de metales.

Para el estudio se utilizó un equipo de prueba de jarras modelo Ec/Z y marca SBS, que consta de seis agitadores regulados según las velocidades requeridas en la prueba de jarras. Durante las prueba se utilizaron seis vasos de precipitados de un volumen de 250 mL. La prueba de jarra se inició con una velocidad de 100 rpm por un minuto de forma simultánea a la adición de diferente dosis de coagulante en cada jarra. Luego de este período se redujo la velocidad a 35 rpm por 20 min para luego dejar reposar las muestras por 45 min para que sedimentaran los flóculos y posteriormente decantar decantar las muestras para los análisis finales. Se realizaron varias repeticiones del ensayo a diferentes dosificaciones hasta encontrar las dosis óptimas en la reducción de la turbiedad y el color para cada mezcla.

Los valores medios de los parámetros estudiados en el agua cruda de las dos fuentes y la mezcla se compararon mediante una prueba de Kruskal-Wallis. Posteriormente se calculó la eficiencia de los tratamientos realizados en la remoción de los parámetros mediante la siguiente ecuación.

$$Eficiencia (\%) = \frac{(valor\ inicial - valor\ final)}{valor\ inicial} \times 100 \quad [1]$$

Para comparar las medianas de los tratamientos de la aireación y la cloración se realizó asimismo una prueba de Kruskal-Wallis. Con los resultados de las pruebas de jarras se evaluaron las dosis óptimas a diferentes valores iniciales de turbiedad para determinar la opción más viable para el tratamiento de potabilización de agua de la EAP. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el uso del paquete de análisis estadístico SPSS®.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la caracterización físico-química del agua cruda de la fuente de Uyuca, el valor pH promedio fue de 4.8, el cual se encuentran por debajo del límite inferior permisible de 6.5. En esta fuente, otros parámetros como el color, la turbiedad, el hierro y el manganeso se encuentran dentro de los valores aceptados por la normativa vigente, no así los valores de aluminio total, que exceden hasta 15 veces el valor máximo permisible de 0.2 mg/L. En la microcuenca Santa Inés los parámetros evaluados como el color y la turbiedad se encuentran por encima del límite permisible. Los valores promedio exceden hasta 9 veces los valores aceptables en cuanto al color y 10 veces en cuanto a la turbiedad en comparación con el valor máximo aceptable. Al mezclar ambas fuentes los parámetros con mayor excedencia de la norma fueron el color, con valores de hasta 67 mg/L Pt-Co, la turbiedad con valores de hasta 27 UNT y el hierro con concentraciones de hasta 0.63 mg/L (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de la caracterización físico-química del agua en los sitios de captura de agua en Zamorano en el período de mayo–agosto de 2013 (n=12).

Sitio	Valores	pH	Turbiedad (UNT)	Color (mg/L Pt-Co)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Santa Inés	Promedio	7.57	52.42	134.42	1.06	0.18
	Máximo	8.10	120.00	1080.00	2.93	0.83
	Mínimo	7.10	8.00	12.00	0.02	0.04
	Mediana	7.55	38.50	40.00	0.96	0.09
Uyuca	Promedio	4.79	2.83	2.92	0.25	0.09
	Máximo	6.80	10.00	24.00	0.85	0.34
	Mínimo	4.20	0.00	0.00	0.04	0.05
	Mediana	4.60	1.00	0.50	0.16	0.06
Mezcla (50:50)	Promedio	6.38	27.17	66.92	0.63	0.16
	Máximo	7.10	80.00	550.00	1.11	0.49
	Mínimo	5.60	3.00	4.00	0.21	0.05
	Mediana	6.50	20.50	20.00	0.59	0.08

La mezcla favorece el incremento del pH de la fuente de Uyuca y resulta en un agua con valores aceptables más cercanos a la neutralidad deseada (Figura 2).

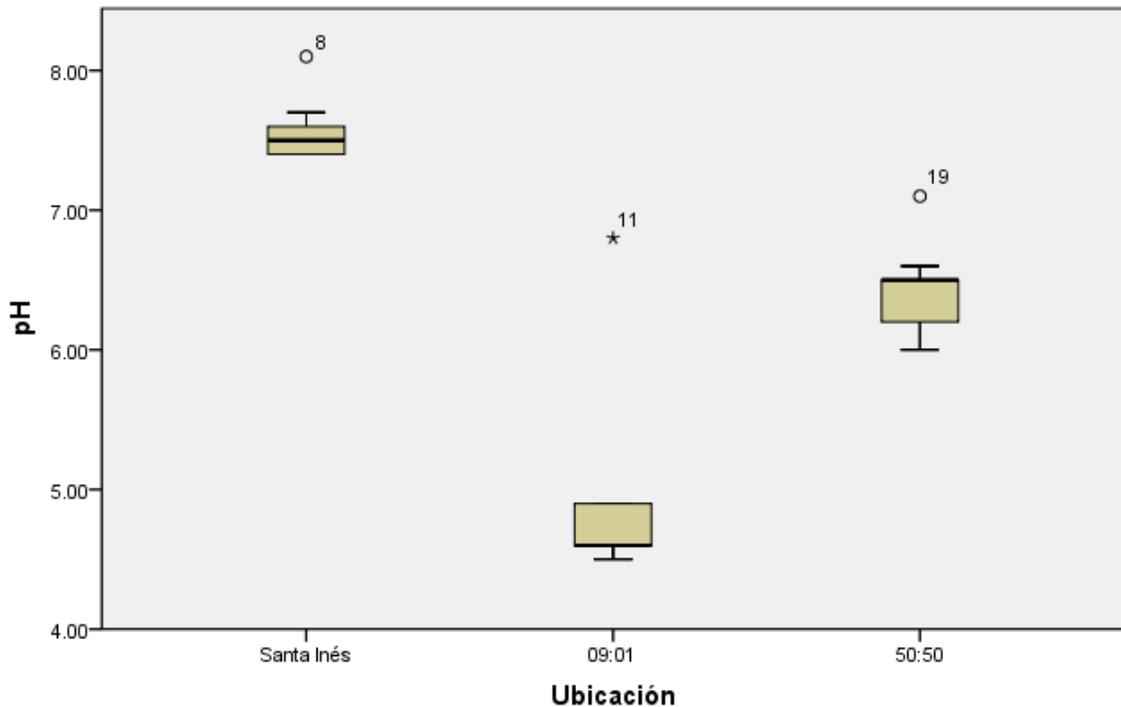


Figura 2. Diagrama de cajas de los valores de pH en las tres fuentes analizadas en los meses de junio-julio en Zamorano, 2013.

**Eficiencia para los procesos de aireación en metales Fe y Mn.** En las muestras sometidas a los tratamientos de aireación se obtuvieron eficiencias en la remoción promedio de 14 % para el hierro, 12% para el manganeso y 16 % en el aluminio. La adición de cloro en una dosis de 0.05 mg/L resultó en eficiencias en la remoción de hasta 15 % para el hierro y el manganeso y 12 % en el aluminio. Las pruebas de aireación y cloro a una dosis de 0.15 mg/L resultaron en eficiencias máximas de 12 % en el hierro, 14 % en el manganeso y 14 % en el aluminio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores promedio de la eficiencia en la remoción de metales mediante tres tratamientos de aireación en mezcla de agua cruda en Zamorano. Mayo, 2013 (n=9).

Metal	Tratamientos	Promedio (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	P
Fe	Sin Cl	14.39	1.15	0.21	0.55
	Cloro 1	15.50	1.78	0.24	0.55
	Cloro 2	12.11	1.45	0.13	0.55
Mn	Sin Cl	12.22	0.50	0.05	0.68
	Cloro 1	15.22	0.47	0.04	0.68
	Cloro 2	14.16	0.53	0.05	0.68
Al	Sin Cl	16.44	2.64	1.13	0.45
	Cloro 1	11.78	2.59	0.77	0.45
	Cloro 2	13.78	2.20	0.56	0.45

\* Cloro 1= Dosis 0.05 mg/L, Cloro 2= Dosis de 0.15 mg/L

Se evaluó la validez de los procesos de aireación en comparación con los valores iniciales de la mezcla de los resultados. En los resultados del hierro y el manganeso se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras crudas y los tratamientos con cloro a 0.15 mg/L (P= 0.02 y 0.03 respectivamente). El tratamiento de cloro a 0.05 fue diferente solamente para el aluminio (P=0.05) y la aireación sin adición de cloro fue significativamente diferente en los resultados de hierro y aluminio (P=0.05 y 0.03). Sin embargo, las eficiencias de estos tratamientos son bajas y no logran reducir las concentraciones del aluminio y el manganeso a valores aceptables.

Los procesos de aireación no resultaron ser eficientes en la remoción de los metales debido a que el agua cruda que se sometió a este proceso tenía valores de pH menores de 6.8. En los tratamientos de aireación los procesos de óxido-reducción de un metal dependen del pH del agua tratada. El proceso ocurre más rápidos en valores de pH altos (Piñas *et al.* 2003). Metales como el manganeso tienen velocidades de oxidación lentas por lo tanto la aireación es poco eficiente para la remoción de  $Mn^{+2}$ , excepto en pH superior a 9.5.

Como agente oxidante el uso de hipoclorito es válido para la remoción de los metales, pero este proceso, igualmente, es eficiente solo a un pH mayor o igual a 8.4 (Piñas *et al.* 2003). Debido a que el agua cruda que fue sometida al proceso no cumplía con esos valores de pH, los procesos no fueron eficientes.

**Resultados de los ensayos de la prueba de jarras.** La turbiedad como propiedad física en el agua debe ser menor a 5 UNT para consumo humano (Ministerio de Salud de Honduras 1995). En las tres fuentes evaluadas se encontraron valores superiores a este parámetro lo que evidencia la necesidad de un proceso de clarificación. Se encontraron valores de hasta 1,080 UNT durante un caudal pico posterior a una tormenta en Santa Inés. El valor promedio de las muestras recolectadas para la prueba de jarras fue de 22.11 UNT para Santa Inés, 5.72 UNT para Uyuca y 14.17 UNT para la mezcla de ambas fuentes. La fuente Uyuca es la más cercana a cumplir lo establecido para la turbiedad en las normas técnicas, las de Santa Inés y la mezcla de ambas se encuentran por arriba de lo

máximo permitido. Los ensayos definen que las dosis bajas de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  de 10 mg/L resultan en las mejores eficiencias en remoción de la turbiedad en la mayoría de las muestras evaluadas (Figura 3). Debido a que los valores de la turbiedad son variables, es necesario ajustar las dosis de sulfato de aluminio frecuentemente. Esta práctica proporciona las dosis de insumo químico a ser utilizado en la planta. Por ejemplo, a una dosis de 10 mg/L la planta potabilizadora requeriría de un consumo diario de aproximadamente 35 Kg de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  para tratar un caudal promedio de 40 L/s.

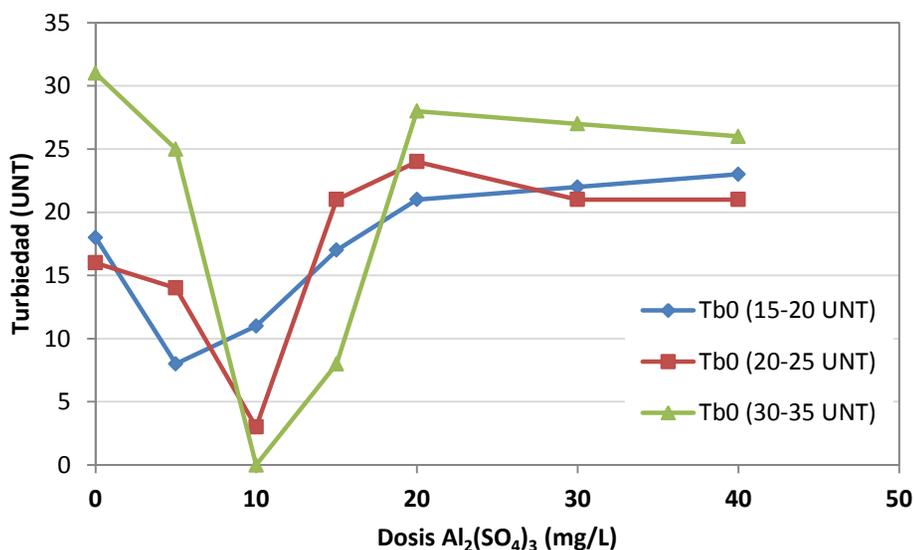


Figura 3. Promedio de los resultados de los ensayos de prueba de jarras para diferentes ámbitos de turbiedad inicial: Tb0 (15-20 UNT) n=4, Tb0 (20-25 UNT) n=3, Tb0 (30-35 UNT) n=1

En la caracterización del color en las tres fuentes que se utilizaron para la prueba de jarras se encontraron valores mínimos de 0 mg/L Pt-Co y máximos de 83 mg/L Pt-Co. También se encontraron valores promedios para Santa Inés de 19.83 mg/L Pt-Co, 6 mg/L Pt-Co para Uyuca y 16.17 mg/L Pt-Co para la mezcla de ambas fuentes. La tendencias de valores promedios, que indican las dosis óptimas de sulfato de aluminio para diferentes ámbitos de color inicial. Las dosis óptimas varían de acuerdo al valor de color inicial y se encuentran entre 10- 40 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (Figura 4).

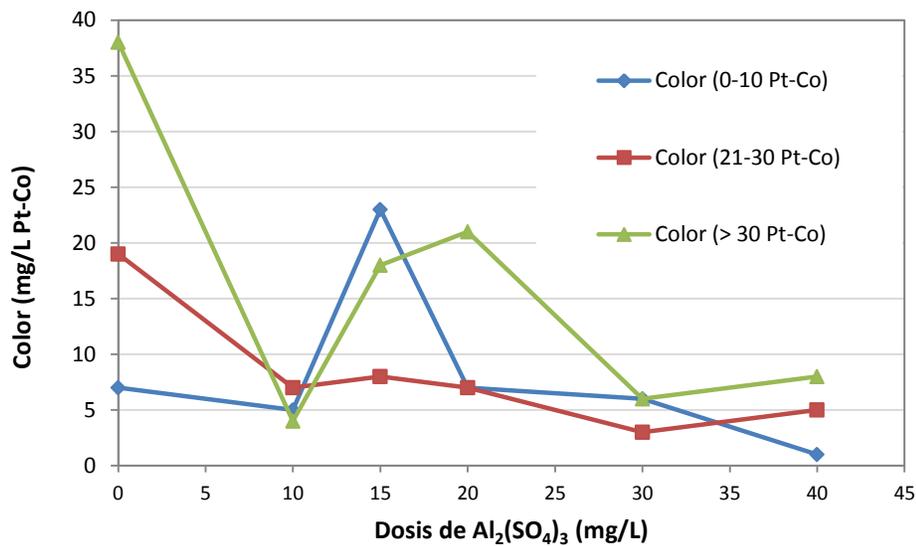


Figura 4. Resultados promedio de las prueba de jarras en diferentes ámbitos de color inicial. Color (0-10 Pt-Co) n=4, color (21-30 Pt-Co) n=3, color (> 30 Pt-Co) n=1

El  $Al_2(SO_4)_3$  como coagulante y ayudante en la floculación cumple la función de remover metales (Fe, Mn y Al). Los resultados de la prueba tuvieron eficiencia en la remoción del hierro y el manganeso con la dosis más eficiente en la clarificación del agua (turbiedad y color). No se encontró eficiencia en la remoción del Aluminio. En algunos casos se encontró que el valor del aluminio se incrementaba en comparación con el valor inicial, debido a la composición del coagulante que adicionó este metal en el agua tratada (Cuadro 4).

Cuadro 4. Concentraciones iniciales y finales de los metales en la mezcla de agua cruda (Uyuca y Santa Inés) con la aplicación de dosis óptima en la remoción de turbiedad y color a través de  $Al_2(SO_4)_3$  en las pruebas de jarras.

Muestras	Dosis (mg/L)	Fe (mg/L)		Mn (mg/L)		Al (mg/L)	
		Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final
1	10	0.60	0.4	0.06	0.07	1.32	1.14
2	10	0.56	0.21	0.09	0.05	0.2	1.30
3	8	0.86	0.14	0.06	0.06	1.52	2.22
4	10	0.80	0.67	0.07	0.06	1.12	2.27
5	10	0.66	0.06	0.07	0.06	2.00	1.80
6	5	0.57	0.12	0.06	0.04	2.00	0.82
7	5	0.48	0.27	0.44	0.05	0.96	0.54
8	10	0.58	0.65	0.30	0.17	1.12	2.00
9	5	0.78	0.14	0.08	0.05	0.88	0.94

## 4. CONCLUSIONES

- La mezcla de las fuentes de agua de Uyuca y de Santa Inés favorece la acidez de la fuente de Uyuca y la turbiedad y el color de la fuente de Santa Inés. Sin embargo, en la mezcla los valores de la turbiedad, el color y el aluminio se encuentran por encima de los límites aceptables por la Norma Técnica de Calidad de Agua Potable de Honduras. Esto hace evidente la necesidad de establecer mecanismos de potabilización que consideren la corrección de estas características en la nueva planta potabilizadora.
- La implementación de un proceso de aireación para la futura planta potabilizadora no es eficiente en cuanto a la remoción de los metales estudiados (Fe, Al, Mn). Los resultados indican que la baja eficiencia de estos procesos no justifica la construcción de un sistema de aireación en la planta.
- Debido a la acidez de la mezcla, el uso de hipoclorito de sodio (NaClO) en dosis de 0.05 a 0.15 mg/L, no fue eficiente para promover la oxidación y la remoción de los metales en los procesos simulados de aireación. Los valores finales obtenidos para los metales (Fe, Mn, Al), indican que se hacen necesarios tratamientos adicionales para cumplir con la normativa de calidad de agua.
- Los valores que se obtuvieron en los ensayos de la prueba de jarras indican que tanto la turbiedad como el color en la mezcla de las fuentes pueden ser llevados a valores aceptables mediante el uso de sulfato de aluminio. La prueba de jarra nos proporciona las dosis óptimas de sulfato de aluminio, sin embargo, esto depende de la turbiedad inicial. La dosis óptima para turbiedades menores a 50 UNT fue de 10 mg/L en la mayoría de los ensayos. Las dosis óptimas para la remoción del color dependen del color inicial del agua a ser tratada.
- La clarificación con sulfato de aluminio redujo las concentraciones de hierro y manganeso en la mayoría de las muestras tratadas. Sin embargo, las concentraciones de aluminio no se redujeron e incluso se incrementaron en algunos ensayos. Esto indica que el aluminio de la mezcla no se encuentra adherido al material particulado que fue coagulado y precipitado y por lo tanto este proceso no es eficiente para su remoción.

## 5. RECOMENDACIONES

- Debido a que aun con mezcla de las fuentes Santas Inés y Uyuca no se logra cumplir con la normativa de pH. Se propone realizar los procesos de alcalinización en el sistema de tratamiento de las fuentes antes de efectuar las mezclas para lograr un pH adecuado para el consumo y la eficiencia en la futura planta potabilizadora de la EAP.
- Eliminar los procesos de aireación en el diseño y construcción de la futura planta potabilizadora, ya que los datos indican que este proceso no es eficiente en la remoción de los metales (Fe, Al y Mn). Este proceso representaría un gasto innecesario en la construcción de la planta potabilizadora.
- Realizar un análisis microbiológico en la mezcla de agua cruda para determinar la presencia de microorganismos patógenos. En la microcuenca Santa Inés hay asentamientos humanos que podrían representar una amenaza para la fuente.
- Eliminar durante los eventos de precipitación de alta intensidad, la entrada de agua de Santa Inés a la planta potabilizadora debido a que se identificó que el agua de Santa Inés arrastra grandes cantidades de sedimento, lo que dificultaría la clarificación del agua e incrementaría los costos de tratamiento en la planta.
- Incluir en la construcción de la futura planta potabilizadora un laboratorio de calidad de agua. El laboratorio debe estar equipado con instrumentos que permitan realizar los análisis de prueba de jarras y ajustar las dosificaciones del coagulante de acuerdo a las condiciones iniciales del agua cruda.
- Considerar en la futura planta potabilizadora el uso un polímero junto con el sulfato de aluminio como ayudante en la coagulación para la remoción de metales con el fin de lograr mejores eficiencias al momento de su aplicación en los ensayos de prueba de jarra y en los procesos de la planta.

## 6. LITERATURA CITADA

Barrenechea, A., De Vargas, L. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Aspecto fisicoquímico de la calidad del agua, coagulación y Desinfección. Centro de Documentación Ambiental. s.e. Perú. 55, 153- 154 y 173- 177 p.

Bedoya, D.C., Giraldo, M.A. 2012. Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana. Tesis Ing. Tecnol Quim., Universidad Tecnológica de Pereira. 103 p.

Enríquez Balcázar, L.G. 2012. Evaluación de la presencia de Al, Fe y Mn en sistema de agua potable. Tesis Ing. DSEA. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 30 p.

Gray, NF. 1996. Calidad del agua potable. Española, Zaragoza. España: Acribia, S.A. 365 p.

Ministerio de Salud. 1995. Normas Técnicas para la calidad de agua potable: parámetros de calidad de agua. Honduras 19 p.

OMS (Organización mundial de la salud). 2009. Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. Guía técnica No. 5. 1-4 p

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2013. Agua, saneamiento y salud (ASS): Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud (en línea). Consultado 14 de julio de 2013. Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/)

OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2005. Guía para el Mejoramiento de la Calidad del Agua a Nivel Casero. UNATSABAR. 59 p.

Orellana, J.A. 2005. Característica del agua potable. Ingeniería Sanitaria-UTN-FRRO. 7 p.

Pineda Hernández, M.A. 2011. Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán, Honduras. Tesis Ing. DSEA. Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana. 29 p.

Piñas Soberanis, M., Rivera Huerta, M., Ramírez González, A. 2003. Remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para abastecimiento público. Red Iberoamericana de potabilización y depuración de agua. CYTED. p 37-53

Romero Rojas, J.A. 2006. Purificación del Agua: Floculación. 2 ed. Colombia. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. p 83 y 141.

Romero Rojas, J.A. 2009. Calidad de Agua. 3 ed., editorial Escuela Colombiana de ingeniería, Bogotá, Colombia. 484p.

Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., Pérez, Z. 2007. Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua. Revista de Ingeniería UC, vol. 14, núm. 3 p 16-23.

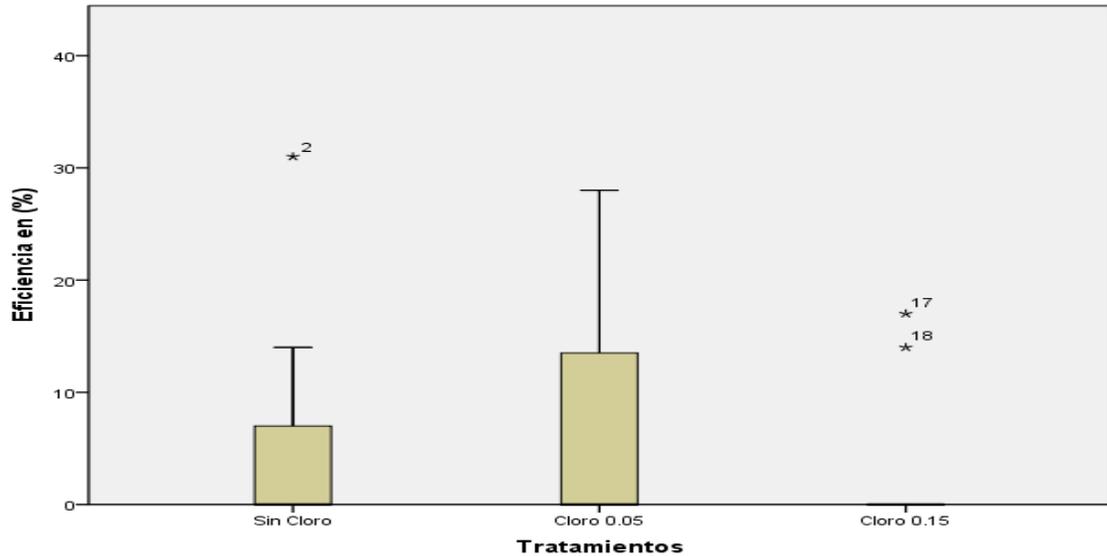
Silva, A. 2013. Agua potable y calidad de vida (en línea). Consultado 16 febrero de 2013. Disponible en <http://www.sld.cu/saludvida/hogar/temas.php?idv=14486>.

Suárez Oquendo, V.E., Trujillo Villa, D.F. 2011. Diseño y Construcción de un Equipo de Prueba de Jarras para la Tratabilidad de Aguas Residuales. Tesis Ing. Químico, Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 131 p.

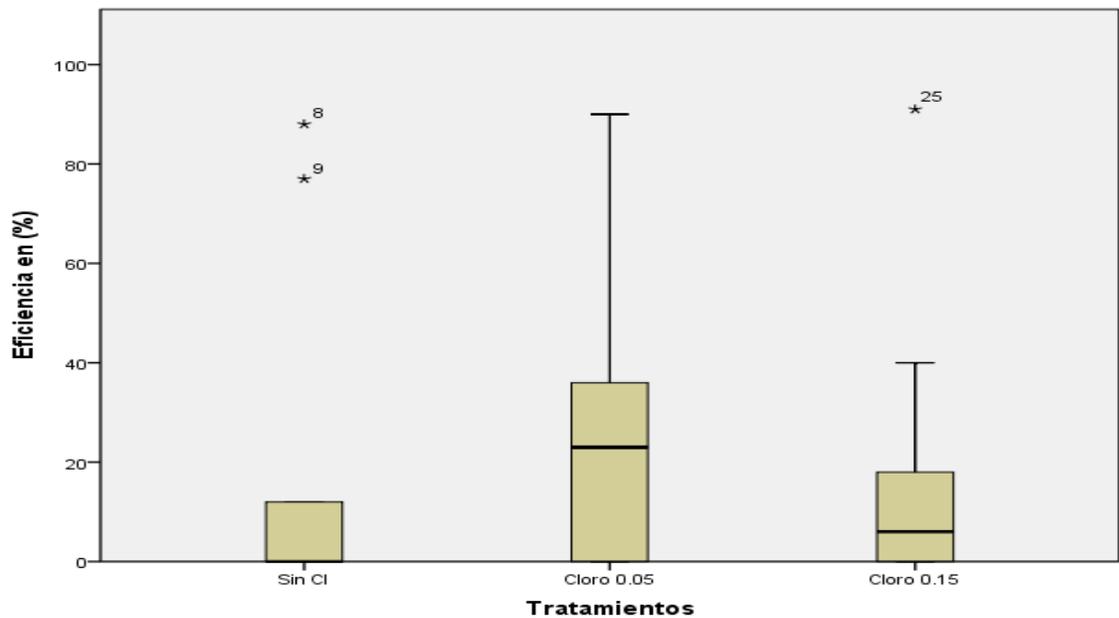
World Health Organization. 2006. Guidelines for Drinking- Water Quality. 3 ed. s.l. s.e. 595 p.

## 7. ANEXOS

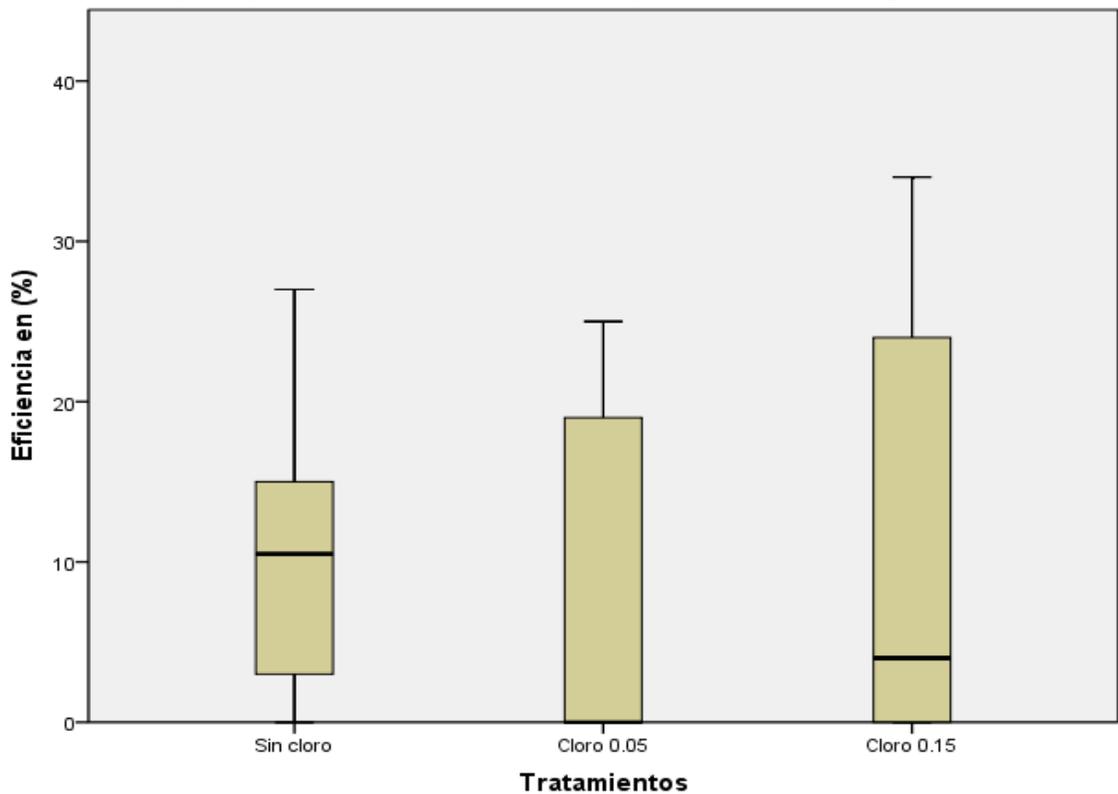
Anexo 1. Diagrama de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del hierro (Fe) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipos de tratamientos.



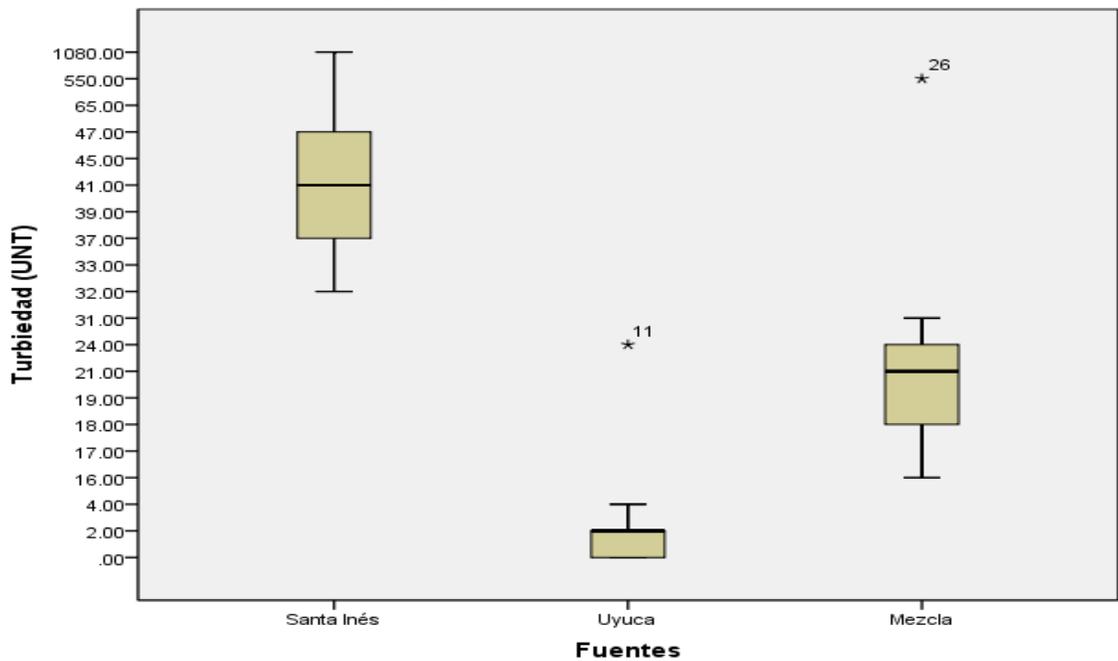
Anexo 2. Diagrama de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del manganeso (Mn) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipos de tratamientos.



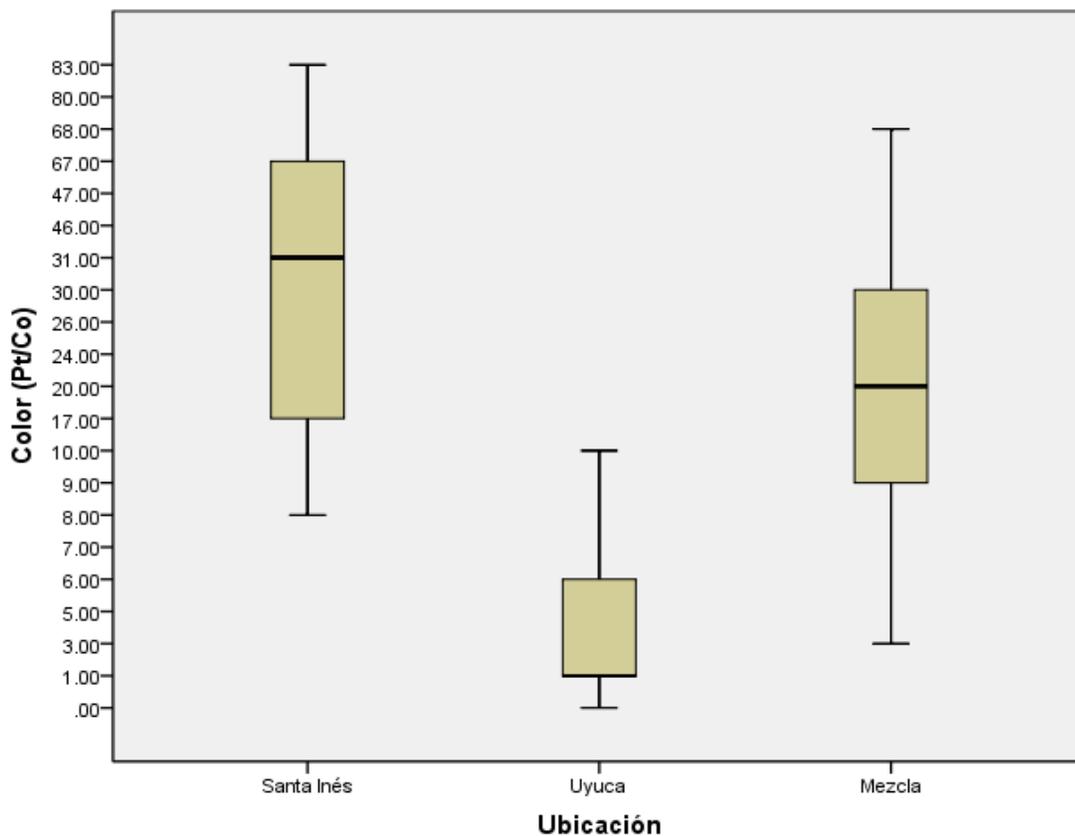
Anexo 3. Diagramas de cajas de los valores de eficiencia en la remoción del aluminio (Al) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), realizado en mayo a través de tres tipos de tratamiento.



Anexo 4. Diagramas de cajas de los valores de turbiedad (UNT) de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), en los meses de mayo a julio en las tres fuentes (n=12).



Anexo 5. Diagrama de cajas para los valores de color de la mezcla (Uyuca y Santa Inés), en los meses de mayo a julio en las tres fuentes (n=12).



Anexo 6. Características físico-químico del agua cruda de las dos fuentes evaluadas (Santa Inés, Uyuca y la proporción 50:50) en Zamorano, mayo 2013.

Fecha	Lugar	T °C	pH	Color mg/L (Pt-Co)	Turbiedad (UNT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
23/05/2013	Sta. Inés	23	7.7	25	12	1.03	0.08	1.73
28/05/2013	Uyuca	22	4.5	3	0	0.15	0.15	1.58
31/05/2013	Mezcla	22	6.2	7	4	0.29	0.29	1.51
23/05/2013	Sta. Inés	23	7.8	120	166	2.93	0.34	2.19
28/05/2013	Uyuca	23	4.2	0	1	0.16	0.06	0.66
31/05/2013	Mezcla	22	5.5	21	76	1.11	0.17	2.18
23/05/2013	Sta. Inés	25	7.1	117	16	0.21	0.04	1.17
28/05/2013	Uyuca	24	4.5	0	0	0.18	0.34	0.69
31/05/2013	Mezcla	24	6.8	80	6	0.21	0.49	1.13

Anexo 7. Caracterización físico-químico del agua cruda de la mezcla (Uyuca y Santa Inés) después de la aireación.

Fecha	Tratamiento	Fe			Mn			Al		
		V. inicial	V. final	Eficiencia	V. inicial	V. fina	Eficiencia	V. inicial	V. final	Eficiencia
23/05/2013	Sin Cl	0.29	0.25	0.14	0.05	0.06	0.00	1.51	1.30	0.14
23/05/2013	Sin Cl	0.29	0.20	0.31	0.05	0.05	0.00	1.51	1.33	0.12
23/05/2013	Sin Cl	0.29	0.13	0.55	0.05	0.05	0.00	1.51	1.38	0.09
28/05/2013	Sin Cl	1.11	1.41	0.00	0.17	0.16	0.06	2.18	1.84	0.16
28/05/2013	Sin Cl	1.11	1.45	0.00	0.17	0.15	0.12	2.18	1.59	0.27
28/05/2013	Sin Cl	1.11	1.16	0.00	0.17	0.18	0.00	2.18	2.20	0.00
31/05/2013	Sin Cl	0.21	0.32	0.00	0.49	0.53	0.00	1.13	1.06	0.06
31/05/2013	Sin Cl	0.21	0.30	0.00	0.49	0.06	0.88	1.13	1.23	0.00
31/05/2013	Sin Cl	0.21	0.24	0.00	0.49	0.11	0.77	1.13	0.56	0.50
23/05/2013	Cloro 0.05	0.29	0.21	0.28	0.05	0.08	0.00	1.51	1.13	0.25
23/05/2013	Cloro 0.05	0.29	0.22	0.24	0.05	0.06	0.00	1.51	1.22	0.20
23/05/2013	Cloro 0.05	0.29	0.28	0.03	0.05	0.05	0.00	1.51	1.23	0.19
28/05/2013	Cloro 0.05	1.11	0.58	0.00	0.17	0.13	0.23	2.18	2.13	0.03
28/05/2013	Cloro 0.05	1.11	1.15	0.00	0.17	0.12	0.30	2.18	2.64	0.00
28/05/2013	Cloro 0.05	1.11	0.59	0.47	0.17	0.11	0.36	2.18	2.25	0.00
31/05/2013	Cloro 0.05	0.21	0.36	0.00	0.49	0.50	0.00	1.13	1.59	0.00
31/05/2013	Cloro 0.05	0.21	0.30	0.00	0.49	0.05	0.90	1.13	1.44	0.00
31/05/2013	Cloro 0.05	0.21	0.37	0.00	0.49	0.05	0.89	1.13	1.60	0.00
23/05/2013	Cloro 0.15	0.29	0.24	0.17	0.05	0.06	0.00	1.51	1.00	0.34
23/05/2013	Cloro 0.15	0.29	0.25	0.14	0.05	0.05	0.00	1.51	1.44	0.05
23/05/2013	Cloro 0.15	0.29	0.30	0.00	0.05	0.07	0.00	1.51	1.15	0.24
28/05/2013	Cloro 0.15	1.11	1.39	0.00	0.17	0.14	0.18	2.18	2.26	0.00
28/05/2013	Cloro 0.15	1.11	1.63	0.00	0.17	0.15	0.13	2.18	2.59	0.00
28/05/2013	Cloro 0.15	1.11	1.78	0.00	0.17	0.10	0.40	2.18	2.10	0.04
31/05/2013	Cloro 0.15	0.21	0.34	0.00	0.49	0.04	0.91	1.13	1.81	0.00
31/05/2013	Cloro 0.15	0.21	0.36	0.00	0.49	0.46	0.06	1.13	0.77	0.32
31/05/2013	Cloro 0.15	0.21	0.35	0.00	0.49	0.47	0.04	1.13	1.74	0.00

Anexo 8. Caracterización físico-químico del agua cruda de Zamorano de las dos fuentes (Uyuca, Santa Inés y proporción 50:50) para el proceso de prueba de jarras, en los meses julio-agosto, 2013.

Fecha	Sitio	pH	Color mg/L Pt-Co	Turbiedad (UNT)	hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)
11/07/2013	Uyuca	4.9	6	4	0.22	0.05
15/07/2013	Uyuca	6.8	5	24	0.85	0.13
16/07/2013	Uyuca	4.6	1	2	0.27	0.05
17/07/2013	Uyuca	4.5	21	0	0.04	0.06
23/07/2013	Uyuca	4.6	0	0	0.11	0.07
24/07/2013	Uyuca	4.9	1	2	0.65	0.06
25/07/2013	Uyuca	4.9	1	0	0.15	0.07
03/08/2013	Uyuca	4.5	7	2	0.11	0.06
13/08/2013	Uyuca	4.6	0	0	0.16	0.06
11/07/2013	Mezcla	7.1	9	31	0.60	0.06
15/07/2013	Mezcla	6.5	3	21	0.56	0.09
16/07/2013	Mezcla	6.0	7	24	0.86	0.06
17/07/2013	Mezcla	6.5	10	18	0.80	0.07
23/07/2013	Mezcla	6.6	20	21	0.66	0.07
24/07/2013	Mezcla	6.5	24	16	0.57	0.06
25/07/2013	Mezcla	6.5	30	19	0.48	0.44
03/08/2013	Mezcla	6.2	47	17	0.78	0.08
13/08/2013	Mezcla	6.0	6	68	0.58	0.30
11/07/2013	Sta. Inés	7.7	17	64	0.24	0.09
15/07/2013	Sta. Inés	7.6	8	45	1.85	0.11
16/07/2013	Sta. Inés	7.4	9	47	1.42	0.09
17/07/2013	Sta. Inés	7.4	26	41	1.34	0.04
23/07/2013	Sta. Inés	7.5	31	37	1.29	0.08
24/07/2013	Sta. Inés	7.4	83	33	0.89	0.10
25/07/2013	Sta. Inés	7.5	46	39	0.86	0.08
03/08/2013	Sta. Inés	7.6	67	32	0.02	0.05
13/08/2013	Sta. Inés	8.1	80	1080	0.62	0.30

Anexo 9. Cuadro de eficiencia en la remoción de los metales de la mezcla de agua cruda (Uyuca y Santa Inés) de los tratamientos en las pruebas de aireación.

Fecha	Tratamientos	pH	Color mg/L (Pt-Co)	Turbiedad (UNT)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
23/05/2013	0.05	7.2	0	9	0.21	0.08	1.13
23/07/2013	0.05	7.0	10	8	0.22	0.06	1.22
23/07/2013	0.05	7.0	5	8	0.28	0.05	1.28
23/07/2013	0.15	7.3	5	7	0.24	0.06	1.00
23/07/2013	0.15	7.2	4	9	0.25	0.05	1.44
23/07/2013	0.15	7.2	0	7	0.30	0.07	1.15
23/07/2013	Sin Cl	8.0	1	4	0.25	0.06	1.30
23/07/2013	Sin Cl	7.6	4	4	0.20	0.05	1.33
23/07/2013	Sin Cl	7.2	2	5	0.13	0.05	1.28
28/08/2013	0.05	6.7	262	83	0.58	0.13	2.13
28/05/2013	0.05	6.6	273	82	1.15	0.12	2.64
28/05/2013	0.05	6.7	272	74	0.59	0.11	2.25
28/05/2013	0.15	6.7	51	75	1.39	0.14	2.26
28/05/2013	0.15	6.5	73	74	1.63	0.15	2.59
28/05/2013	0.15	6.6	61	77	1.78	0.10	2.10
28/05/2013	Sin Cl	6.7	42	74	1.41	0.16	1.84
28/05/2013	Sin Cl	6.5	274	85	1.45	0.15	1.59
28/05/2013	Sin Cl	7.1	298	84	1.16	0.18	2.20
31/05/2013	0.05	7.2	74	7	0.36	0.50	1.59
31/05/2013	0.05	7.2	73	8	0.30	0.05	1.44
31/05/2013	0.05	7.3	68	8	0.37	0.05	1.60
31/05/2013	0.15	7.3	82	9	0.34	0.04	1.81
31/05/2013	0.15	7.3	83	9	0.36	0.46	0.77
31/05/2013	0.15	7.1	83	7	0.35	0.47	1.74
31/05/2013	Sin Cl	7.2	67	8	0.32	0.53	1.06
31/05/2013	Sin Cl	7.1	84	8	0.30	0.06	1.23
31/05/2013	Sin Cl	7.4	70	7	0.24	0.11	0.56