Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán, Honduras

Medardo Antonio Pineda Hernández

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán, Honduras

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

Presentado por

Medardo Antonio Pineda Hernández

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán, Honduras

Presentado por:

Medardo Antonio Pineda Hernández

Aprobado:

_____ Erika Tenorio, M.Sc. Asesora principal	_____ Arie Sanders, M.Sc. Director Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente
_____ Maricela Blair, M.Sc. Asesora	_____ Raúl Espinal, Ph.D. Decano Académico

RESUMEN

Pineda Hernández, M.A. 2011. Determinación de los requerimientos para la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 22 p.

El agua es un líquido de vital importancia para la vida humana y su suministro debe estar regido por los estándares de calidad de agua que garanticen la salud de quienes la consumen. El crecimiento poblacional en los últimos años en la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano, ha dejado al descubierto la necesidad de buscar alternativas de agua para el abastecimiento a mediano y largo plazo. Esta situación ha despertado el interés en el agua de la Microcuenca Santa Inés ubicada al sur del Valle del Yeguare. Se condujo un estudio caracterizar la calidad de agua de esta microcuenca y determinar mediante pruebas de jarras la eficiencia y dosis adecuada del tratamiento químico con los coagulantes comerciales: Sulfato de Aluminio (SAL) $Al_2(SO_4)_3$ y el polímero Policloruro de Aluminio (PAC) $Al_{13}O_4(OH)_{24}{}^{7+}(Al_{13})$ en la remoción de color y turbidez. Se midieron en agua cruda y tratada parámetros físico-químicos: turbidez, color, pH, conductividad eléctrica y sulfatos. La adición de SAL a razón de 20 mg/L en una turbidez inicial de 80.7 UNT, produjo resultados aceptables en el color de las muestras. Sin embargo se observó una baja eficiencia en la reducción de turbidez y sulfatos y una reducción del pH y un incremento de la conductividad eléctrica del agua tratada. Con una dosis de 25 mg/L de PAC se obtuvo resultados eficientes en la reducción de color, turbidez y sulfatos por debajo de los valores permisibles según la Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH). Además el PAC, mantiene estable el pH y la conductividad eléctrica en el tratamiento del agua.

Palabras clave: Color, policloruro de aluminio, prueba de jarras, sulfato de aluminio, turbidez.

CONTENIDO

Portadilla..... i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de cuadros, figuras y anexos..... v

1 INTRODUCCIÓN 1

2 MATERIALES Y MÉTODOS 3

3 RESULTADOS 6

4 CONCLUSIONES 10

5 RECOMENDACIONES 11

6 LITERATURA CITADA 12

7 ANEXOS 14

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Tiempos y velocidades de agitación utilizados en cada etapa de la prueba de jarras en el tratamiento de agua de la microcuenca Santa Inés, Honduras 4
2. Cantidad de ensayos en la prueba de jarras de cuatro celdas con el agua cruda de la microcuenca Santa Inés, Honduras 5
3. Comparación de la eficiencia de los tratamientos del agua de la Microcuenca Santa Inés con el SAL y el PAC en la Prueba de rachas de Wald-Wolfowitz .. 6

Figuras Página

1. Comparación de la reducción de turbidez y color en la muestra del agua tratada de la Microcuenca Santa Inés con el coagulante PAC 6
2. Comparación de la reducción de turbidez y color en la muestra del agua tratada de la Microcuenca Santa Inés con el coagulante SAL..... 7
3. Cantidad de coliformes fecales y no fecales a lo largo del muestreo de agua en la Microcuenca Santa Inés, Honduras 9

Anexos Página

1. Ubicación geográfica de la captación de agua de la microcuenca Santa Inés, Honduras..... 14
2. Normativa de los parámetros organolépticos y fisicoquímicos de calidad de agua potable de Honduras 15
3. Normativa de los parámetros bacteriológicos de calidad del agua potable de Honduras..... 16
4. Informe de resultados de la calidad de agua de la Microcuenca Santa Inés en la época de verano No. 4813, Quinta versión 17

Anexos Página

5. Informe de resultados de la calidad de agua de la Microcuenca Santa Inés en la época de invierno No. 4112, Quinta versión 18
6. Porcentajes finales de la remoción en la eficiencia de turbidez y color usando el SAL y PAC en el agua de la Microcuenca Santa Inés..... 19
7. Resultados de la prueba bacteriologíca mediante el método de placas de Petrifilm con el agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras 20
8. Fase de sedimentación con agua de la Microcuenca Santa Inés en la prueba de jarras con el PAC 21
9. Fase finalizada de la sedimentación en la prueba de jarras con el PAC con el agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras. 21
10. Comparación de agua potable de Zamorano y agua cruda de la Microcuenca Santa Inés, Honduras 22
11. Comparación de agua clarificada y agua cruda de la Microcuenca Santa Inés, Honduras..... 22

1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye uno de los elementos básicos para el soporte de la vida y representa en la actualidad una preocupación mundial debido a la creciente demanda y a su contaminación. El agua posee características únicas que le permiten mantener la vida en el planeta. Es el disolvente general biológico y el medio en el que ocurren la mayoría de las reacciones celulares del metabolismo (Poch 1999).

Se entiende como agua potable aquella que es apta para el consumo humano y no representa riesgos a la salud. El agua potable debe cumplir con los valores establecidos por las autoridades de salud ya que éstos constituyen un indicador que alerta sobre posibles riesgos o alteraciones en las fuentes en donde el agua se regula mediante los procesos de tratamiento (OPS 2003). En la evaluación del tratamiento de agua potable, deben efectuarse estudios detallados de carácter físico-químico y bacteriológico para determinar las condiciones y calidad que se les ofrece a los consumidores (Colindres 2010).

Los procesos acelerados de degradación en las cuencas hidrográficas en el territorio Hondureño tienen como resultado el aumento de la erosión y el arrastre de suelo y nutrientes en la época lluviosa entre mayo y octubre. Esto ocasiona el deterioro de la calidad de agua que está disponible para las comunidades debido a problemas de turbidez, color, alta concentración de nutrientes, pesticidas y metales y la contaminación bacteriológica, entre otros. Un ejemplo de esta situación se encuentra en la Microcuenca Santa Inés localizada al sur del Valle del Yeguare, entre los municipios de Yuscarán, Güinope y San Antonio de Oriente. La microcuenca está compuesta de ecosistemas de bosque nublado con predominancia de bosque mixto (latifoliado y pino) en la parte alta, bosque de pino joven en la parte media, y áreas agrícolas, pastizales y matorrales en la parte baja (Andino 2011). Se estima que la precipitación media para la Microcuenca Santa Inés es de aproximadamente 1,200 mm por año, distribuida principalmente entre mayo y octubre. La microcuenca provee a Zamorano servicios ecosistémicos tales como la captación de 10 L/s de agua para uso agrícola a Zamorano (Escuela Agrícola Panamericana Zamorano 2011).

Durante la época lluviosa se incrementan en los cuerpos de agua superficiales algunos parámetros indicadores de calidad de agua como por ejemplo el color y la turbidez. Algunos factores que podrían dar lugar a estos problemas son el cambio del uso de la tierra, la deforestación y la densidad de población asentada dentro de la microcuenca. Ciertas prácticas de prevención o mitigación podría implementarse para prevenir fácilmente algunos de estos factores, como en el caso de la deforestación y el cambio del uso del suelo. Al no corregir estos problemas, aumenta la escorrentía, el lavado y

transporte de suelo, los nutrientes y la materia orgánica hacia el río, esto contribuye al aumento de la turbidez y el color de agua. Por otro lado, la densidad de la población y las actividades de las comunidades en la microcuenca inciden en el incremento de coliformes fecales y la contaminación con aguas grises.

Las proyecciones de creciente demanda de agua en el Zamorano y la necesidad de garantizar el suministro permanente a futuro se han convertido en un reto para la comunidad Zamorana. Esto ha despertado el interés de evaluar el potencial de utilizar el agua de la Microcuenca Santa Inés como una alternativa de provisión de agua para consumo humano. Se prevé la instalación de una planta de tratamiento de aguas diseñada por el Proyecto AguaClara de la Universidad de Cornell en conjunto con la EAP Zamorano. Sin embargo, previo a su diseño y construcción es necesario llevar a cabo la evaluación y el monitoreo de los parámetros de la calidad de agua de la fuente (turbidez y color) con el fin de determinar el tratamiento apropiado y la dosificación de dos tipos de coagulantes disponibles comercialmente: Sulfato de Aluminio (SAL) y Policloruro de Aluminio (PAC), por medio del método de prueba de jarras. Ambos análisis se realizan con el fin de garantizar que el agua sea apta para uso humano. La instalación a futuro de una planta potabilizadora de agua en Santa Inés presenta adicionalmente una oportunidad para Zamorano de asegurar los derechos de uso del agua de la microcuenca. Los objetivos del presente estudio son:

- Realizar la caracterización físico-química y bacteriológica del agua cruda de la Microcuenca Santa Inés.
- Determinar la dosificación adecuada de coagulantes para la remoción de turbidez y color del agua de la microcuenca.
- Determinar cuál de los dos coagulantes tiene mayor eficiencia en la remoción de color, turbidez y otros parámetros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se realizó el muestreo de agua cruda del río Santa Inés para realizar los ensayos de laboratorio con la prueba de jarras y caracterizar las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua. Se utilizó el método de prueba de rachas de Wald-Wolfowitz, por medio del programa de Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, por sus siglas en ingles).

Se tomaron muestras de agua cruda posterior a eventos de precipitación en junio, julio y agosto, dentro de la Microcuenca Santa Inés en la obra de captación construida por Zamorano. Las muestras se recolectaron en frascos de polietileno de 1L debidamente rotuladas y se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis físico-químico. Además, en cada visita se tomaron dos muestras de agua cruda en bolsas estériles de Whirl Pack para análisis bacteriológico, las cuales se mantuvieron en refrigeración hasta el momento del análisis. Los análisis físico-químicos, bacteriológicos y de prueba de jarra, se llevaron a cabo en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico Ambiente de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.

El análisis físico-químico incluyó los parámetros de turbidez, color, conductividad eléctrica, sulfatos y pH. La turbidez se define como el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión tales como microorganismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado y compuestos de aluminio (Contreras *et al.* 2009). La turbidez fue medida en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT), empleando un turbidímetro portátil marca LaMotte® 20202e previamente calibrado (LaMotte, Chestertown, MD).

El color del agua está compuesto por los sólidos totales o sólidos en suspensión, filtrables, disueltos o partículas coloidales que tienen un tamaño de 1 a 100 nm. (Universidad de Chile s.f). Por otro lado las concentraciones de sulfato que ocasionan el color, se encuentran en las aguas subterráneas y se forman al moverse el agua a través de formaciones rocosas y el perfil del suelo que contiene los minerales son depositados en los afluentes (OPS 2003). El color y los sulfatos (SO_4) fueron valorados mediante el colorímetro HACH® DR/Serie 890 (HACH, Loveland, CO) se utilizó celdas de 25 ml. El color fue valorado por medio del método estándar APHA Platino-Cobalto, y reportado en unidades de color Pt-Co, mientras que el sulfato se analizó por el método de SulfaVer 4, y es reportado en mg/L.

La coagulación consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas a modo que se reduzca las fuerzas de separación entre ellas y es un proceso de corta duración. La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Al ocurrir esto, se forman puentes químicos entre las partículas (materia orgánica y residuos industriales) de modo que esto formará una malla de coágulos, que aumentará su densidad con el paso del tiempo y forma flóculos suficientemente grandes y pesados para sedimentar.

El proceso de floculación tiene una durabilidad mayor que la coagulación (Universidad de Chile s.f.). La sedimentación es el proceso en el cual se precipitan por la fuerza de gravedad los flóculos de mayor densidad que forma una masa. Estos procesos tienen como fin reducir la turbidez y el color del agua el cual es el objetivo del estudio. Los resultados fueron comparados con la NTCAH (Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable de Honduras 1995).

Se utilizó un equipo de pruebas de jarras (ECE) Minimix Laboratory Mixer (MLM) de cuatro jarras, con capacidad de 500 mL cada una. Se colocaron 500 mL de agua cruda en cada jarra y se inició el período de coagulación a una velocidad de 300 rpm inmediatamente después de agregar de forma gradual en cada jarra el coagulante polímero en 1 % durante 3-5 minutos.

Posteriormente, se redujo la velocidad a 30-40 rpm durante 15 minutos hasta que se observara la formación de flóculos. Al finalizar el período de floculación, se dejó reposar el agua durante 20 minutos para la fase de sedimentación (Cuadro 1). Terminada esta fase, se procedió a tomar una lectura de cada parámetro y a comparar los resultados con la NTCAH. Para la prueba de jarras, se utilizaron dos coagulantes: SAL y PAC en soluciones madre de 1 % y 0.5 %.

Cuadro 1. Tiempos y velocidades de agitación utilizados en cada etapa de la prueba de jarras en el tratamiento de agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.

Etapa del proceso	Tiempo (min)	Velocidad de agitación (rpm)
Coagulación	3	300
Floculación	15	40
Sedimentación	25 - 30	0

El ámbito alto establecido para la práctica de la prueba de jarras con agua cruda de Santa Inés es de 100.1 – 122 UNT con 16 ensayos en SAL el ámbito bajo 70 – 100 UNT con 10 ensayos en SAL y 13 ensayos con PAC (cuadro 2). Conforme a estos ámbitos se analizó cada parámetro al inicio y al final del proceso de cada ensayo de prueba de jarras.

Cuadro 2. Cantidad de ensayos en la prueba de jarras de cuatro celdas con el agua cruda de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.

	TRATAMIENTOS	N
Pruebas de remoción de turbidez	SAL	26
	PAC	13
	Total	39
Pruebas de remoción de color	SAL	26
	PAC	13
	Total	39

SAL (Sulfato de Aluminio) PAC (Policloruro de Aluminio)

Para evaluación de la eficiencia del policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio en los parámetros de turbidez y color se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Eficiencia de Reducción (\%)} \quad \frac{\qquad\qquad}{\qquad\qquad} \times 100 \qquad [1]$$

$$\text{Eficiencia de Reducción (\%)} \quad \frac{\qquad\qquad}{\qquad\qquad} \times 100 \qquad [2]$$

Debido a las características del estudio y a la aleatoriedad de las lecturas iniciales de turbidez y color en el agua cruda y a las diferentes dosificaciones de SAL y PAC, se plantea un análisis de diseño cuasi-experimental. Se analizaron los datos a través de la prueba de rachas de Wald-Wolfowitz a través del programa de Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, por sus siglas en inglés). La prueba de rachas de Wald-Wolfowitz es una alternativa no paramétrica para contrastar si dos muestras con datos independientes proceden de poblaciones con la misma distribución. La prueba combina y acomoda las observaciones de ambos grupos. Si las dos muestras son de la misma población, los dos grupos deben distribuirse al azar a lo largo de la clasificación jerárquica (Riera *et al.* 2005).

3. RESULTADOS

Los valores de turbidez y color del agua de Santa Inés se encuentran por encima de los límites máximos permisibles por la NTCAH. Los valores de pH, de sulfatos y de la conductividad eléctrica se encuentran dentro de los límites aceptables. Para las variables del porcentaje de remoción de color y de turbidez en los resultados de la Prueba de rachas de Wald-Wolfowitz (Cuadro 3) demuestra que el PAC fue eficiente en la reducción de color y de turbidez en todos los tratamientos realizados. Estos resultados afirman la efectividad en la remoción del color y la turbidez (Figura 1), mientras que el SAL fue eficiente solamente en la reducción de turbidez (Figura 2).

Cuadro 3. Comparación de la eficiencia de los tratamientos del agua de la Microcuenca Santa Inés con el SAL y el PAC en la Prueba de rachas de Wald-Wolfowitz.

		Número de rachas	Z	Significación asintótica (unilateral)	Significación exacta (unilateral)	Probabilidad en el punto
Porcentaje de remoción de turbidez	Número exacto de rachas	16	0.672	0.251	0.246	0.094
Porcentaje de remoción de color	Mínimo posible	7	3.969	0	0	0
	Máximo posible	13	1.771	0.038	0.04	0.023

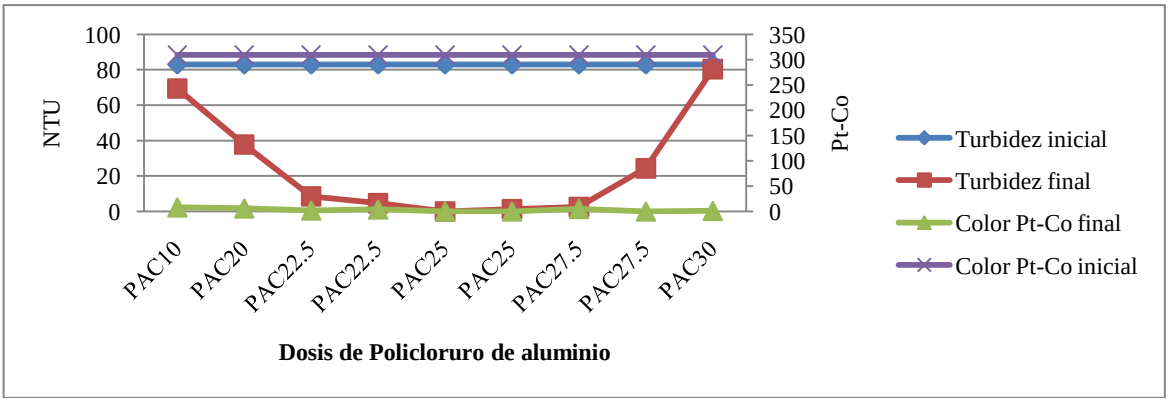


Figura 1. Comparación de la reducción de turbidez y color en la muestra del agua tratada de la Microcuenca Santa Inés con el coagulante PAC.

*PAC10= Dosis de 10 mg/L de Policloruro de Aluminio .

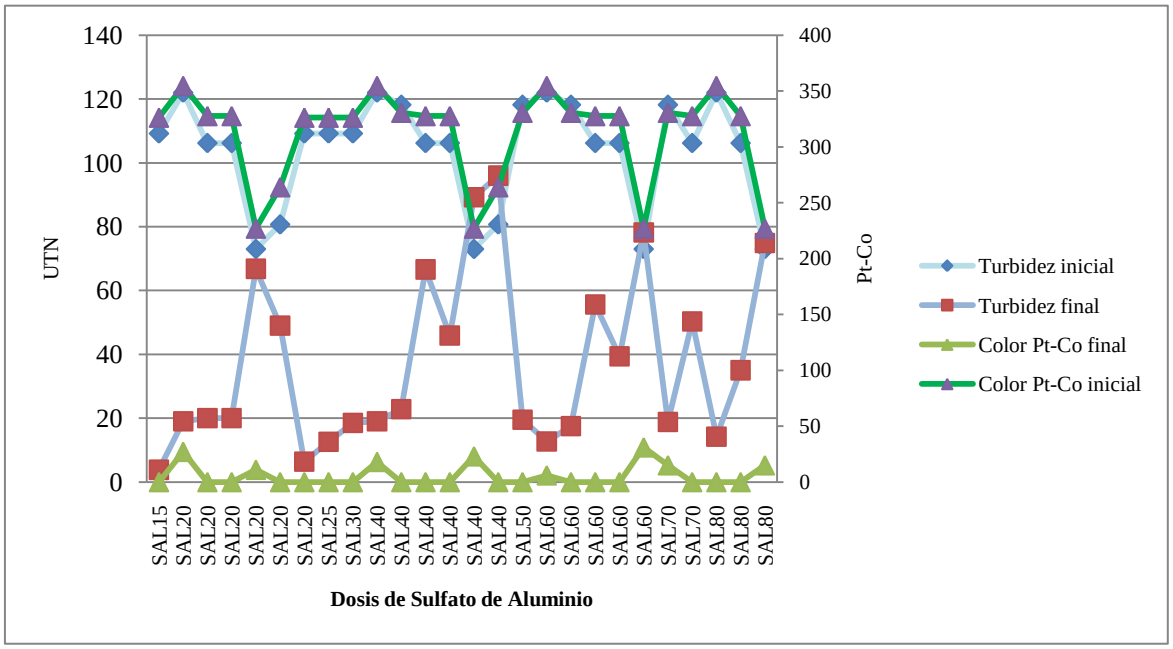


Figura 2. Comparación de la reducción de turbidez y color en la muestra del agua tratada de la Microcuenca Santa Inés con el coagulante SAL.
*SAL15= Dosis de 15 mg/L de Sulfato de Aluminio

En agua cruda con turbidez inicial de 80.7 UNT y color de 264 Pt-Co, el coagulante y dosis con mejor resultado fue SAL a una concentración en 20 mg/L. La dosis de 20 mg/L redujo en 39.3 % la turbidez y en 100 % el color. Sin embargo el coagulante SAL presentó alteraciones en otros parámetros en la reducción del pH, el incremento de la conductividad eléctrica y de los sulfatos. La lectura inicial de la conductividad fue de 35.7 µS/cm incrementándose a 37.3 µS/cm, mientras que en el sulfato se obtuvo una lectura inicial de 3 mg/L incrementándose a 4 mg/L. El SAL tiene su limitante por su efecto variable en algunos parámetros y la reducción excesiva del pH.

La SAL es un coagulante metálico, muy sensible al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del ámbito adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio, esto incrementa la conductividad eléctrica y la reducción del pH. EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que el SAL trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH. Si el pH del agua cruda no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran el carbonato sódico y los ácidos minerales (Torra *et al.* 1998).

En el ámbito de turbidez alta, la lectura inicial en agua cruda fue 109.2 UNT, 326.3 Pt-Co y 44.6 µS/cm. Con una dosis de 15 mg/L de SAL, se redujo la turbidez, el color y la conductividad en 3.83 UNT a 0 unidades Pt-Co y 34.5 µS/cm respectivamente. Sin embargo, el sulfato aumentó considerablemente de 3 a 8 mg/L mientras que el pH se redujo de 8 a 6.1. A pesar de que el sulfato y la CE tienden a incrementarse en la mayoría

de las veces, estos aun están dentro del ámbito que establece NTCAH. Los valores de pH no se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua, un problema que se observó siempre que se aplicó SAL a la muestra de agua cruda.

En el ámbito de turbidez bajo, la lectura inicial de agua cruda fue de 82.9 UNT, al aplicar PAC en una dosis de 25 mg/L se obtuvo una lectura final de 0 UNT. De manera similar se observó una reducción considerable de color de una lectura inicial de 309 Pt-Co a 0 Pt-Co como resultado final. En el sulfato, se obtuvo un resultado favorable de reducción de 3 a 0 mg/L. El PAC tiene la cualidad de mantener estable el pH, la lectura inicial fue de 7.4 a 7.08 como lectura final. El PAC tiene la deficiencia en la reducción de la conductividad eléctrica en la mayoría de los ensayos, la lectura inicial de 43 µS/cm a 62.5 µS/cm. El PAC reduce considerablemente el color, la turbidez, el sulfato y mantiene estable el pH por lo tanto es más eficiente y eficaz en la clarificación del agua que el SAL. Sin embargo, a pesar que la conductividad eléctrica incrementa esta aun se mantiene dentro de los estándares que establece la NTCAH.

De acuerdo con la Prueba de rachas de Wald-Wolfowitz y los resultados en la prueba de jarras el PAC es un coagulante que reduce la turbidez y color en el proceso de la clarificación del agua y viable para tratar el agua de Santa Inés (Figura 1). Permite una mejor separación de partículas para un margen de dosis superior que el SAL, esto permite que en menor tiempo se formen el flóculos y resulte en poco tiempo el proceso de la sedimentación en la prueba de jarras. El PAC es menos sensible a las variaciones de la composición del agua cruda que el coagulante tradicional SAL ya que este es sensible a los cambios de la temperatura y el pH.

Todas las fases del proceso de tratamiento de prueba de jaras (coagulación, floculación, sedimentación) se ven afectadas negativamente a bajas temperaturas al aplicar SAL ya que este no forma flóculos. Sin embargo, el comportamiento superior del PAC permite normalmente que este sea óptimo en función a bajas temperaturas. Mediante la aplicación del PAC se obtuvieron una reducción notable de los parámetros como el color, la turbidez y los sulfatos en comparación con el SAL que al incrementar las dosis tiende a incrementase los parámetros pH (Figura 1 y 2). La aplicación de PAC resultó en un menor incremento a la conductividad eléctrica en comparación con SAL. Se afirma que los coagulantes prepolimerizados tal como el PAC ofrecen una serie de ventajas frente al SAL, da mejores resultados en turbidez y color (Figura 1) y es más eficiente al mantener un pH estable dentro del ámbito establecido por la NTCAH.

Los muestreos para los análisis bacteriológicos se tomaron en la obra de captación de agua de Zamorano después un evento de precipitación alta (Figura 3). Los colifomes fecales presentan un leve aumento cuando la precipitación es alta, pero cuando la precipitación es baja presenta lecturas favorables, como es el caso del 26 de julio de 2011, el conteo de coliformes fecales fue de 1 UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml) mientras que los resultados de los coliformes no fecales resultó bajo en relación a las demás lecturas del análisis bacteriológico (Figura 3).

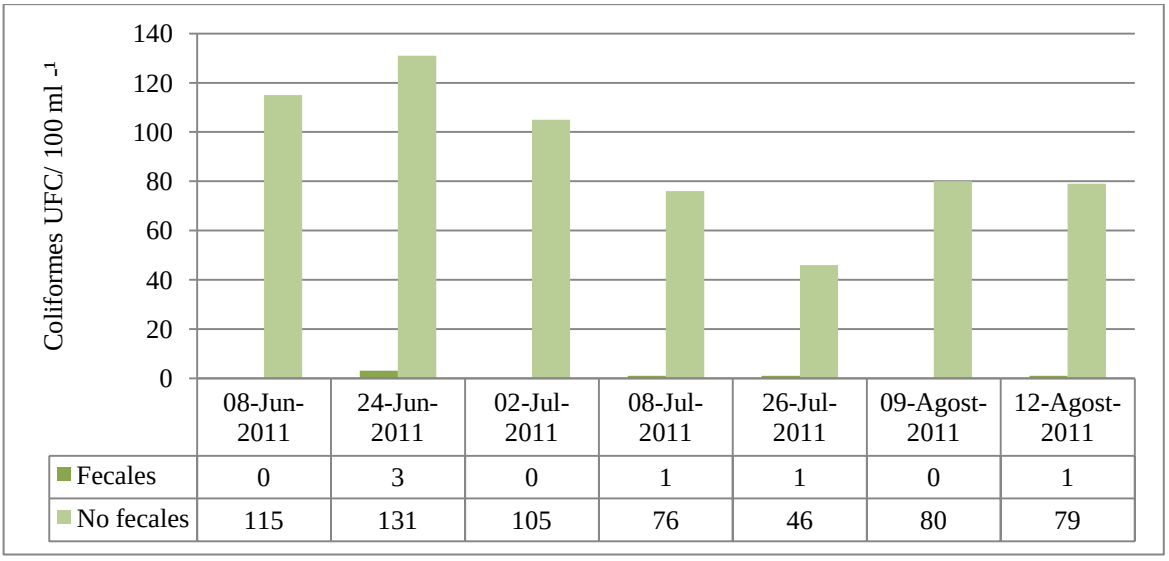


Figura 3. Conteos de coliformes fecales y no fecales a lo largo del muestreo de agua en la Microcuenca Santa Inés, Honduras.

Como es de esperar en fuentes no puntuales de contaminación, cuando la precipitación es alta en la Microcuenca Santa Inés se registran valores elevados de coliformes fecales y no fecales por escorrentía superficial a lo largo de la microcuenca, como es el caso en el día 24 de junio de 2011. La lectura de los coliformes fecales fue de 3 UFC/100 ml mientras que los coliformes no fecales fue de 131 (Figura 3). De acuerdo con la NTCAH este parámetro no está dentro de los valores permisibles de la calidad de agua destinada a consumo humano. Este problema bacteriológico tiene efecto directo en tratamiento de la potabilización del agua de la Microcuenca Santa Inés, ya que se deberán determinar las dosis óptimas de desinfectantes en el agua posterior a los procesos de coagulación y floculación.

4. CONCLUSIONES

- El diagnóstico físico-químico y bacteriológico del agua cruda de la Microcuenca Santa Inés reveló resultados aceptables para consumo solamente en los parámetros de pH, conductividad eléctrica y sulfatos. Valores superiores a los máximos permisibles en el color, la turbidez y las bacterias coliformes se registraron en todos los muestreos del presente estudio.

- El uso de SAL dificulta la determinación de la dosis adecuada para reducir la turbidez y mantener estable el pH en el agua de la Microcuenca Santa Inés. Contrariamente el PAC es eficiente y eficaz en el proceso de clarificación del agua y presenta mayores facilidades para determinar la dosis óptima en prueba de jarras. El PAC es el coagulante que debería ser empleado en el tratamiento de agua de la Microcuenca Santa Inés y presenta las ventajas adicionales de responder de manera más eficiente a cambios bruscos de turbidez y pH, dando como resultado una disminución de la turbidez y color del agua dentro de los valores recomendados por la Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH).

- Se observó que en condiciones de turbidez alta, la utilización de SAL tiene mejores rendimientos, mientras que en turbidez baja, el PAC obtuvo mejores resultados en reducir los valores de turbiedad y color en el proceso de tratamiento del agua cruda de Santa Inés para minimizar la turbidez hasta valores de 0 UNT y de 0 unidades de color (Pt-Co) recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH). Dosificaciones inferiores o superiores a las dosis óptimas de SAL tiene un rápido efecto de reversión sobre la turbidez, el color y el pH. EL SAL es imprescindible en los resultados que dependen del pH y temperatura del agua, produce la reducción del pH a valores críticos e incrementa la conductividad eléctrica.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio que evalúe la eficiencia de la combinación de SAL y el PAC en función de los parámetros de la turbidez, el color, el pH, el sulfato y la conductividad eléctrica del río Santa Inés. Estos parámetros deben evaluarse más a fondo junto con las concentraciones de aluminio residual en el agua tratada.

- Debido a la reducción de pH en el tratamiento de clarificación de agua con SAL, si se decidiera utilizar SAL, se recomienda neutralizar el agua tratada con una solución de hidróxido de sodio (NaOH), de carbonato de calcio ($CaCO_3$) o la suspensión de cal ($Ca(OH)_2$) para aumentar los niveles del pH.

- Establecer un estudio de análisis de agua en época lluviosa que no presente precipitaciones muy variables, esto para determinar dosis adecuada bajo el valor máximo de turbidez. Durante este estudio las precipitaciones fueron muy dispersas limitando encontrar el máximo de turbidez.

- El agua del río Santa Inés debe ser tratada mediante procesos de clarificación y desinfección previo a ser utilizada para consumo humano. El agua tratada debe de estar dentro de los valores recomendados por la Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH).

6. LITERATURA CITADA

Andino, M. 2011. Cuenca hidrográfica Santa Inés importante escenario de investigación. (en línea). Hondudiario, Tegucigalpa, Honduras. Consultado 27 set 2011. Disponible en http://www.hondudiario.com/content/cuenca-hidrogr%C3%A1fica-santa-in%C3%A9s-importante-escenario-de-investigaci%C3%B3n.

Contreras *et al.* 2009. Investigación: Turbiedad del agua. Materia: Calidad de agua. (en línea). Ecuador. Consultado 28 set. 2011. Disponible en http://www.dspace.espol.edu.ec-/bitstream/123456789/6164/11/turbiedad.pdf.

Colindres, A. 2010. Evaluación del sistema de potabilización en la Escuela Agrícola Panamericana. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras. 42 p.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York US. 2006. Manual de tratamiento de aguas. I Ed. Editorial Limusa-Wiley. México. 1985. 205 p.

Dirección General de Salud Ambiental, Grupo de Estudio Técnico Ambiental para Agua. s.f. Abastecimiento de Poblaciones y Uso Recreacional - Parámetro a Evaluar: Organoléptico (en línea). Perú. Consultado 26 ago. 2011 http://www.digesa.sld.pe/-DEPA/informes_tecnicos/GRUPODEUSO.pdf.

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Hn. 2011. Visita a cuenca hidrográfica Santa Inés. (en línea). San Francisco Morazán, Honduras. Consultado 23 may. 2011. Disponible en http://www.zamorano.edu/visita-a-cuenca-hidrografica-santa-ines/.

Massol, A. s.f. Segunda parte: Parámetros Físico-Químicos: Temperatura. (en línea). Puerto Rico. Consultado 05 de Oct. 2011. Disponible en http://www.uprm.edu/biology-/profs/massol/manual/p2-temperatura.pdf.

Organización Panamericana de la Salud. 2003. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Sulfato. (en línea). Washington, D.C. Consultado 05 Oct. 2011. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_quimicos/Sulfato.pdf.

OPS (Organización Panamericana de la Salud, Hon); OMS (Organización Mundial Para la salud). 2003. Análisis sectorial de agua potable en Honduras. Información sectorial básica (en línea). Consultado 26 sept. 2010. Disponible en http:/www.bvsde.paho.org-/bvsaas/fulltext/honduras/partel.pdf.

Poch, M. 1999. Las cualidades del agua. 1 Ed. Barcelona: Rubes Editorial S. L. España. 159 p.

Presidente Constitucional de la Republica de Honduras. 1995. Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH). (en línea). Tegucigalpa, Hn. Consultado 27 set. 2011. Disponible en http://salud.gob.hn/transparencia/archivos/-regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20%20Honduras.pdf.

Riera *et al.* 2005. Manual de SPSS, análisis de datos. (en línea). Universidad de Barcelona, España. Consultado 27 set. 2011. Disponible en http://www.ub.edu/aplica_-infor/spss/cap6-2.htm.

Sangrador *et al.* 1999. Ensayos con distintos coagulantes para reducir el aluminio residual en agua potabilizada. Revista tecnológica del agua. (en línea) Salamanca, España. Consultado 05 set. 2011. Disponible en http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/-aluminio_coagulantes_potables.pdf.

Tenorio, E. 2008. Validación de la efectividad de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural del agua destinada a consumo humano en la región del Yeguare, Honduras. San Francisco Morazán, Hn. EAP. 24 p.

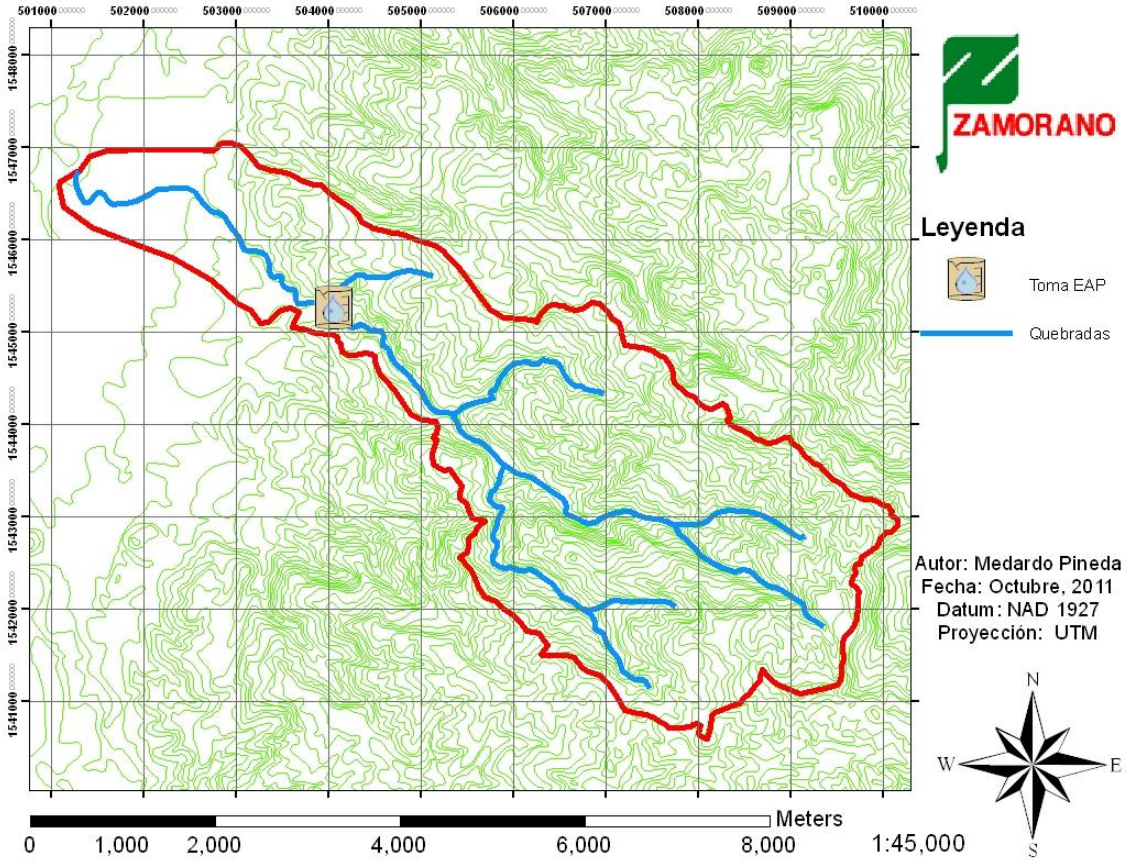
Torra, V. *et al.* 1998. Policloruro en el proceso de potabilización de aguas superficiales: Su comportamiento como coagulante dentro del ámbito de la química. (en línea). Barcelona, España. Consultado 09 oct. 2011. Disponible en http://es.scribd.com/doc/-41612818/policloruro-aluminio-en-potabilizacion-de-aguas.

UNILAB (Laboratorio de Industria y Ambiente) 2010. Informe de resultados de análisis de agua de la Microcuenca Santa Inés. Tegucigalpa, Honduras, EAP.

Universidad de Chile, Ciencia Abierta. s.f. Coagulación y floculación de contaminantes del agua (en línea). Chile. Consultado 25 may. 2011. Disponible en http://cabierta.uchile-.cl/revista/15/educacion/edu4/.

7. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de la captación de agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.



Anexo 2. Normativa de los parámetros organolépticos y físico-químicos de calidad de agua potable de Honduras.

Parámetros Organolépticos

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C
Sabor	Factor dilución	0	2 a 12 °C 3 a 25 °C

Parámetros Fisicoquímicos

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloro Residual	mg/l	0.5 a 1.0 (b)	(c)
Cloruros	mg/l	25	250
Conductividad	µS/cm	400	-
Dureza	mg/l $CaCO_3$	400	-
Sulfatos	mg/l	25	250
Aluminio	mg/l	-	0.2
Calcio	mg/l $CaCO_3$	100	-
Cobre	mg/l	1.0	2.0
Magnesio	mg/l $CaCO_3$	30	50
Sodio	mg/l	25	200
Potasio	mg/l	-	10
Sol. Tot. Dis.	mg/l	-	1000
Zinc	mg/l	-	3.0

Fuente: Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH) 1995.

Anexo 3. Normativa de los parámetros bacteriológicos de calidad del agua potable de Honduras.

ORIGEN	PARÁMETRO (b)	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE	OBSERVACIONES
A. Abastecimiento con agua entubada.				
A1. Agua no tratada que entra en el sistema de distribución.	Coliformes Totales	0	3	En una muestra ocasional pero no en muestras consecutivas.
	Coliformes Fecales	0	0	
A1. Agua tratada que entra en el sistema de distribución	Coliformes Totales	0	0	Turbiedad <1. Para la desinfección con cloro es preferible pH<8.0 y cloro residual libre de 0.2-0.5 mg/l después de un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos.
	Coliformes Fecales	0	0	
A3. Agua en el sistema de distribución	Coliformes Totales	0	0	En el 95% de las muestras examinadas durante el año. Cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinen suficientes muestras (c).
	Coliformes Fecales	0	0	
	Coliformes Totales	0	3	Ocasionalmente en alguna muestra pero no en muestra
B. Abastecimiento con agua no entubada.	Coliformes Totales	0	10	No debe ocurrir en forma repetida. Cuando la ocurrencia sea frecuente se buscará otra fuente.
	Coliformes Fecales	0	0	
C. Agua embotellada y agua para preparación de hielo.	Coliformes Totales	0	0	La fuente debe estar exenta de contaminación fecal.
	Coliformes Fecales	0	0	

Fuente: Norma Técnica para la Calidad de Agua potable de Honduras (NTCAH) 1995.

Anexo 4. Informe de resultados de la calidad de agua de la Microcuenca Santa Inés en la época de verano No. 4813, Quinta versión.

unilab
Industria y ambiente
de unitec

ECA
Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-080
Acreditado a partir de: 14.09.2010
Alcance disponible en www.eca.or.cr

unitec
Laureate International Universities

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4813

Identificación de muestra: SANTA INES
Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL **Cantidad:** 1 GAL / 250 mL
Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. OSCAR SOTO
Responsable toma de muestra: OSCAR PAGOAGA
Lote N°: ---------- **Elaboración:** ---------- **Vencimiento:** ----------
Toma de muestra: 28/04/2011 **Fecha ingreso:** 28/04/11; 12:30 M
Fecha de análisis: 28/04/11 – 06/05/11 **Fecha entrega:** 21/05/11

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
NMP Coliformes Totales	540 /100 mL	N/A	Max: 100/100 mL
Color verdadero	50,6 Unidades Pt-Co	N/A	Max: 15 Unidad. Pt-Co
pH (21,8°C) (***)	**7,64**	**±0,03**	**6,5 – 8,5**
Conductividad	40,30 µS/cm	N/A	Max: 1 600 µS/cm
Turbiedad	11,00 NTU	N/A	Máx.: 15 NTU
Alcalinidad	14,40 mg $CaCO_3$/L	N/A	----------
Dureza Total	**5,33 mg $CaCO_3$/L**	**±0,34**	----------
Calcio	**1,60 mg /L**	**±0,04**	----------
Magnesio	0,32 mg/L	N/A	----------
Sulfatos	<2,00 mg/L	N/A	Máx: 250 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	19,00 mg/L	N/A	Máx: 1 000 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	3,00 mg/L	N/A	----------
Sólidos Sedimentables	<0,10 mL/L/hr	N/A	----------
Cloruros	1,77 mg/L	N/A	Max: 600 mg/L
Nitratos N-NO_3	<0,04 mg/L	N/A	Max: 50,0 mg/L
Nitritos N-NO_2	0,005 mg/L	N/A	Max: 3,0 mg/L
Hierro Total	0,49 mg/L	N/A	Max: 0,30 mg/L
Manganeso	0,02 mg/L	N/A	Max: 0,50 mg/L
Nitrógeno Amoniacal N-NH_4	<0,05 mg/L	N/A	Max: 0,50 mg/L
DQO	**<10,00 mg/L**	**±0,88**	**Max: 10,00 mg/L**

---------- ULTIMA LINEA ----------

Descripción de la muestra: Líquido transparente, inodoro con leve color café. Leve presencia de particulas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió a temperatura de refrigeración en bote plástico y bolsa estéril, proporcionados por UNILAB.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso.
N/A= No Aplica **(***) Ensayo acreditado**

JEFE AREA MICROBIOLOGIA
Dra. Keebeth Espinal

unitec
UNILAB

JEFE AREA FISICOQUIMICA
Ing. Victoria Cortés

DIRECCION TECNICA
Ing. Victoria Cortés

Página 1 de 2

CAMPUS TEGUCIGALPA
Zona Jacaleapa
Tel.(504) 2268-1000/ 2202-4400 ext. 142
Fax: 2291-3841 PBX 2291-3838
e-mail: unilab@unitec.edu

Fuente: UNILAB (Laboratorio de Industria y Ambiente) 2010. Informe de resultados de análisis de agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras, EAP.

Anexo 5. Informe de resultados de la calidad de agua de la Microcuenca Santa Inés en la época de invierno No. 4112, Quinta versión.

Código: RT-02
Quinta versión

INFORME DE RESULTADOS No. 4112

Identificación de muestra: SANTA INES
Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL **Cantidad:** 1 GAL / 250 mL
Procedencia: ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA EL ZAMORANO
Dirección: EL ZAMORANO, VALLE DEL YEGUARE, CARRETERA DE ORIENTE
Solicitado por: ING. MARCIA SUAZO
Responsable toma de muestra: DRA. KEEBETH ESPINAL
Lote N°: ---------- **Elaboración:** ---------- **Vencimiento:** ----------
Toma de muestra: 07/06/2010 **Fecha ingreso:** 07/06/10; 3:00 PM
Fecha de análisis: 07/06/10 – 23/06/10 **Fecha entrega:** 07/07/10

Análisis	Resultado	Incertidumbre expandida*	Valor Normal**
NMP Coliformes Fecales	93/100 mL	N/A	Max: 100/100 mL
Color verdadero	325 Unidades Pt-Co	N/A	Max: 15 Unidad. Pt-Co
pH (20,2°C)	7,00	±0,02	6,5 – 8,5
Conductividad	47,9 µS/cm	N/A	Max: 1 600 µS/cm
Turbiedad	55,0 NTU	N/A	Máx.: 15 NTU
Alcalinidad	18,6 mg $CaCO_3$/L	N/A	----------
Dureza Total	9,0 mg $CaCO_3$/L	±0,57	----------
Calcio	1,60 mg /L	±0,05	----------
Magnesio	1,22 mg/L	N/A	----------
Sulfatos	4,0 mg/L	N/A	Máx: 250 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	23,0 mg/L	N/A	Máx: 1 000 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	13,33 mg/L	N/A	----------
Sólidos Sedimentables	<0,1 mL/L/hr	N/A	----------
Cloruros	1,24 mg/L	N/A	Max: 600 mg/L
Nitratos N-NO_3	<0,1 mg/L	N/A	Max: 50,0 mg/L
Nitritos N-NO_3	0,01 mg/L	N/A	Max: 3,0 mg/L
Hierro Total	2,83 mg/L	N/A	Max: 0,30 mg/L
Manganeso	0,11 mg/L	N/A	Max: 0,50 mg/L
Nitrógeno Amoniacal N-NH_4	<0,05 mg/L	N/A	Max: 0,50 mg/L
DQO	4,65 mg/L	N/A	Max: 10,00 mg/L

---------- ULTIMA LINEA ----------

Descripción de la muestra: Liquido transparente, incoloro e inodoro. Libre de particulas en suspensión.

Condiciones de la muestra: La muestra se recibió a temperatura de refrigeración en bote plástico y bolsa estéril, proporcionados por UNILAB.

Observaciones: * k=2 Límite de confianza 95% ** Referencia de valores normales al reverso.
N/A= No Aplica.

JEFE AREA MICROBIOLOGIA
Dra. Keebeth Espinal

JEFE AREA FISICOQUIMICA
Ing. Victoria Cortés

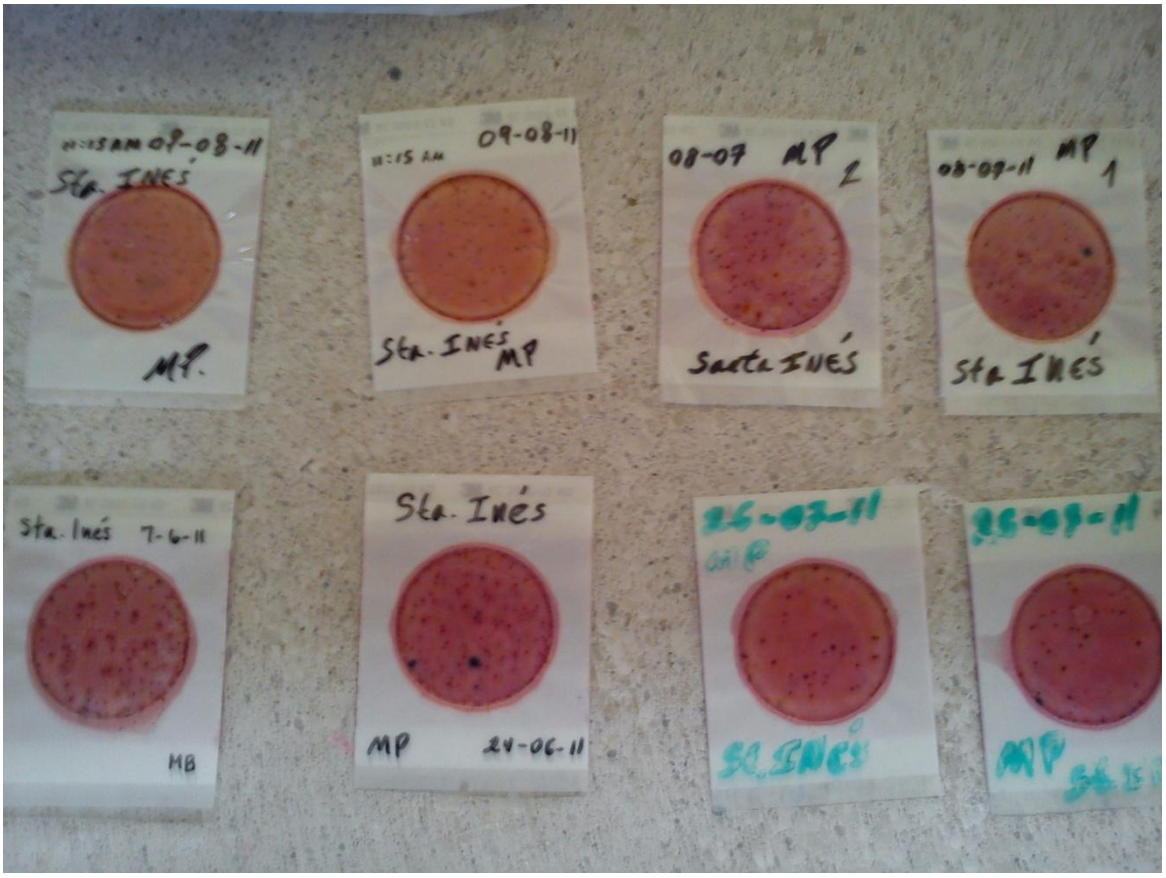
DIRECCION TECNICA
Ing. Victoria Cortés

Fuente: UNILAB (Laboratorio de Industria y Ambiente) 2010. Informe de resultados de análisis de agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras, EAP.

Anexo 6. Porcentajes finales de la remoción en la eficiencia de turbidez y color usando el SAL y PAC en el agua de la Microcuenca Santa Inés.

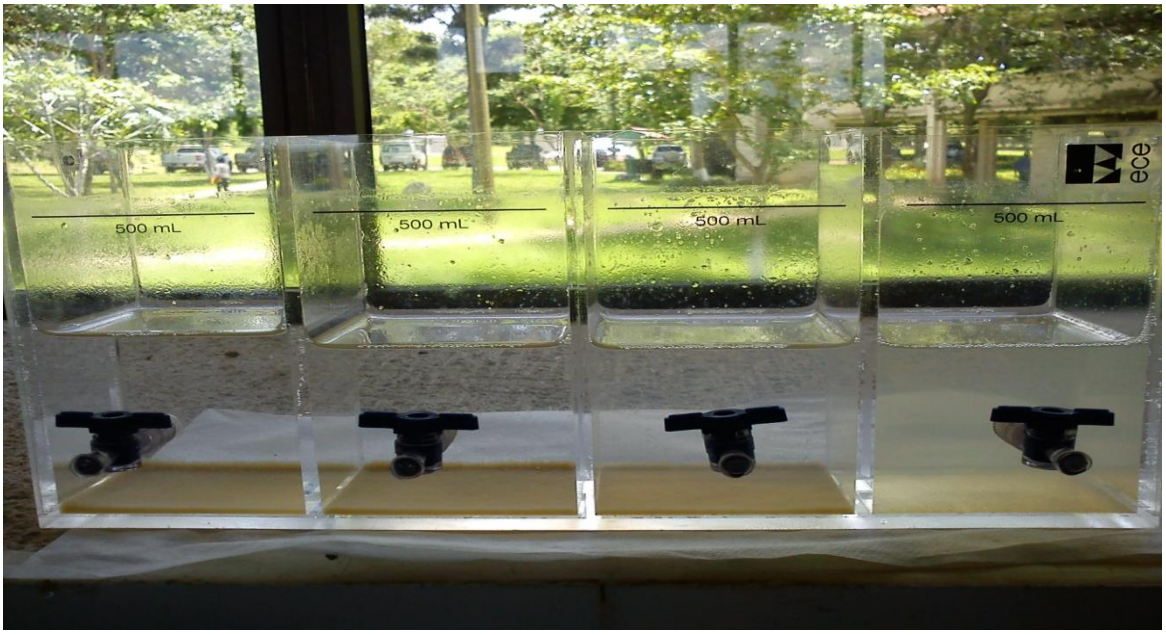
Tratamiento	Turbiedad (UNT)	pH	Ce µS/cm	Sulfatos mg/L	Color Pt-Co	% Remoción de turbidez	% Remoción de color
PAC10	69.4	7.4	35	1	8	14.0	97.0
PAC20	37.8	7.09	40.6	1	6	53.2	97.7
PAC22.5	8.49	7.14	60.9	1	2	89.8	99.4
PAC22.5	4.58	6.98	59.9	1	4	94.5	98.7
PAC25	0.00	7.08	62.5	0	0	100.0	100.0
PAC25	1.15	6.96	61.5	0	0	98.6	100.0
PAC27.5	2.48	6.96	64.8	0	5	97.0	98.4
PAC27.5	24.3	7	63.7	0	0	70.7	100.0
PAC30	80.3	7.03	65.8	1	1	3.1	99.7
SA15	3.83	6.1	34.5	8	0	96.5	100.0
SA20	19.0	7.2	47.8	6	27	84.4	92.4
SA20	20	6	47.7	7	0	81.2	100.0
SA20	20	7.55	49.3	9	0	81.2	100.0
SA20	66.8	7.01	40	4	11	8.5	95.2
SA20	49	6.2	37.3	4	0	39.3	100.0
SA20	6.4	5.2	50.2	10	0	94.1	100.0
SA25	12.6	4.5	69	16	0	88.5	100.0
SA30	18.5	4.4	79.3	22	0	83.1	100.0
SA40	19.0	6.2	59.1	11	18	84.4	94.9
SA40	22.8	4.6	81.7	15	0	80.8	100.0
SA40	66.6	5.36	60	13	0	37.3	100.0
SA40	45.9	5.78	62	16	0	56.8	100.0
SA40	89.2	5.66	50.7	4	23	-22.2	89.9
SA40	96	5.72	46.8	4	0	-19.0	100.0
SA50	19.5	4.55	91.5	21	0	83.6	100.0
SA60	12.7	5.5	79.2	22	6	89.6	98.3
SA60	17.5	4.63	97.3	28	0	85.3	100.0
SA60	55.6	4.85	78.5	18	0	47.6	100.0
SA60	39.4	5.21	78.5	24	0	62.9	100.0
SA60	78.2	5.05	67	4	31	-7.1	86.3
SA70	18.8	4.78	108	35	15	84.2	95.5
SA70	50.3	4.6	88.6	25	0	52.6	100.0
SA80	14.2	4.1	97.3	34	0	88.4	100.0
SA80	35	4.8	93.1	32	0	67.0	100.0
SA80	74.9	4.83	87.3	4	15	-2.6	93.4

Anexo 7. Resultados de la prueba bacteriologíca mediante el método de placas de Petrifilm con el agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.

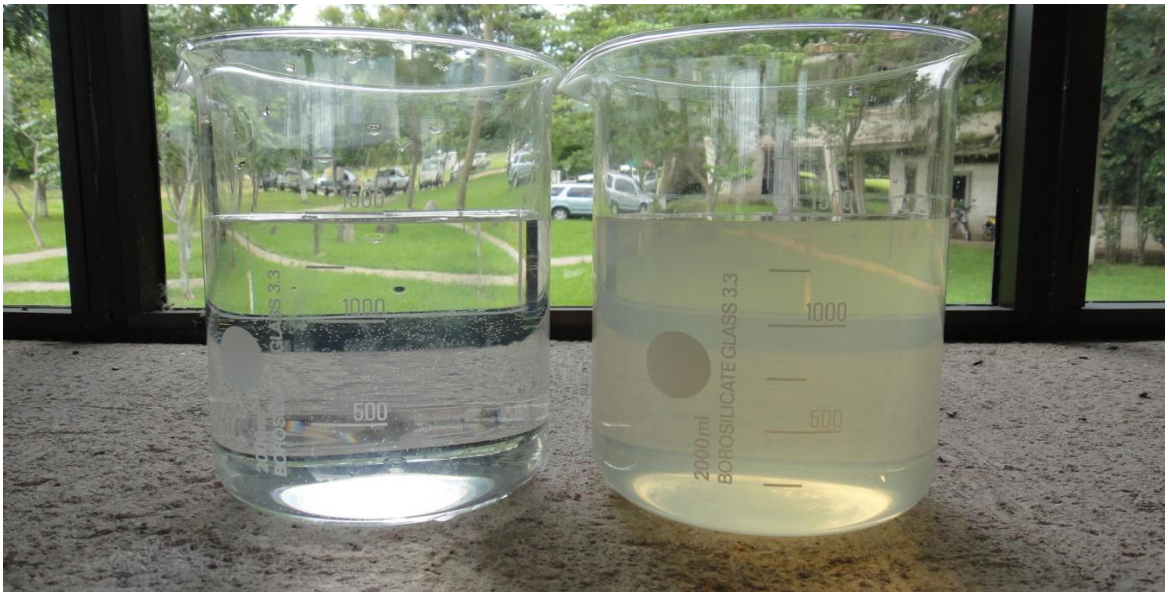
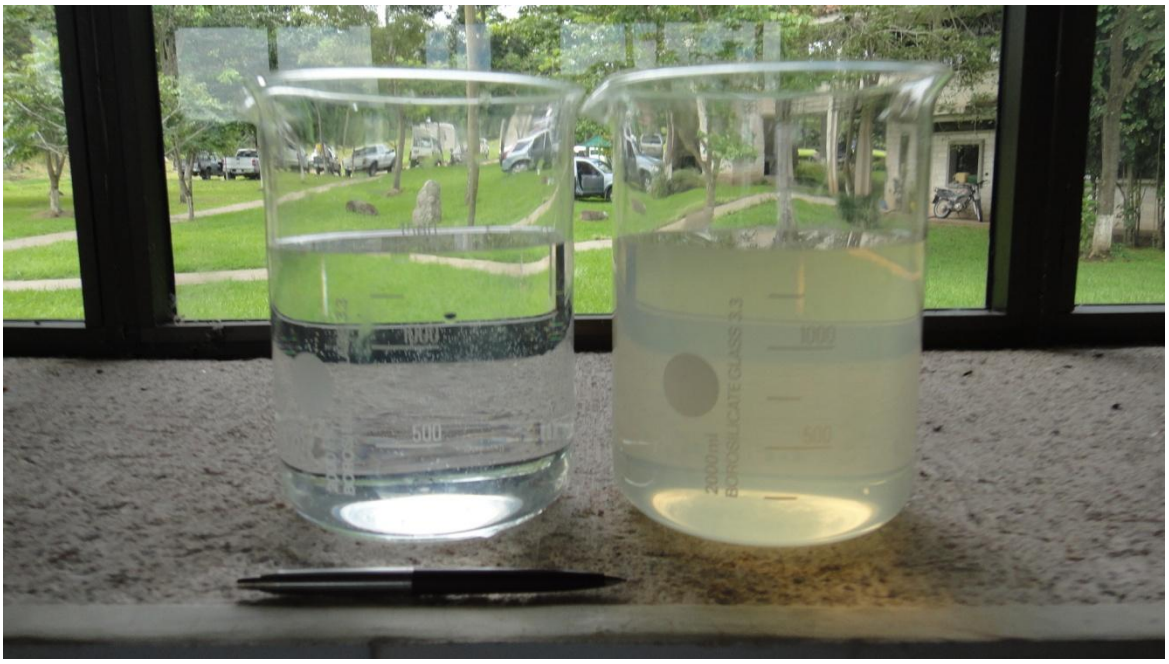


Anexo 8. Fase de sedimentación con agua de la Microcuenca Santa Inés en la prueba de jarras con el PAC.

Anexo 9. Fase finalizada de la sedimentación en la prueba de jarras con el PAC con el agua de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.



Anexo 10. Comparación de agua potable de Zamorano y agua cruda de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.



Anexo 11. Comparación de agua clarificada y agua cruda de la Microcuenca Santa Inés, Honduras.