



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PLAN DE MEJORA DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) EN
LOS CAMPAMENTOS TACUÍ Y CUNÍ DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO ITUANGO**

Laura María Marín Ortiz

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020



Plan de mejora de la operación y mantenimiento de la planta de
tratamiento de agua potable (PTAP) en los campamentos Tacuí y Cuní del
Proyecto Hidroeléctrico Ituango

Laura María Marín Ortiz

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Sanitaria

Asesor:
Darío Naranjo Fernández

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.
Medellín, Colombia
2020

RESUMEN

El presente informe de práctica se enfocó en el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de los campamentos Tacuí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango, a partir del análisis de la información obtenida e inspecciones técnicas y operativas, permitiendo establecer las necesidades y prioridades de la PTAP. Para ello, se desarrollaron tres fases; la primera fase fue un diagnóstico de la infraestructura actual en la que se realizaron visitas periódicas con el fin de recopilar la información necesaria y verificar el funcionamiento. La segunda fase consistió en la evaluación de los procesos y la calidad del agua de acuerdo a la normatividad legal vigente. Finalmente, la tercera fase fue la identificación de falencias y alternativas de mejora. Como resultado, se determinó que la actual infraestructura física y operativa de la PTAP se encuentra en buen estado, por ende, se garantiza agua apta para el consumo humano; sin embargo, se recomienda fortalecer las actividades referentes al mantenimiento del sistema de tratamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las prioridades ambientales y sanitarias, el uso eficiente y consumo de agua es esencial tanto para la salud humana como para el beneficio de la comunidad. En su contexto, el abastecimiento y tratamiento del recurso hídrico debe ser apropiado y satisfactorio dependiendo de su utilidad. En este orden de ideas, una planta de tratamiento de agua es un sistema que tiene gran impacto en una región debido a que permite que el agua captada desde la fuente sea distribuida a las viviendas e instituciones en condiciones adecuadas de calidad y cantidad. La calidad del agua es un aspecto importante en la actualidad, principalmente cuando es destinada para el consumo humano, existiendo diversos procesos para su potabilización; sin embargo, existen carencias en cuanto a la manera de potabilizar el agua en aspectos de infraestructura y, en otros casos, asociados a que la metodología aplicada no satisface las necesidades requeridas por la población (Castro Garzón, Rubio Cruz, & Rodríguez Miranda, 2012), hecho que repercute en la calidad con la que se brinda el servicio y que posteriormente es consumida por una comunidad.

La evaluación de los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano es una herramienta importante para conocer su operación, debido a que permite ajustar los parámetros operacionales de acuerdo al diseño de la PTAP y en función de la calidad del agua tratada. Dicho análisis debe realizarse con determinada frecuencia, con el propósito de controlar e implementar acciones orientadas a mantener y mejorar continuamente los procesos.

Los sistemas de tratamiento requieren para su correcto funcionamiento una cadena de acciones integrales que permitan establecer una rutina de operación y mantenimiento. Por tanto, se hace necesario definir una serie de

principios que deben llevar a la optimización del proceso, entre los cuales se encuentran el compromiso de una buena gestión, planificación, implementación, medición, evaluación, revisión y mejoramiento continuo de los procesos llevados a cabo, todo de acuerdo con las necesidades de la población y regidas por la legislación ambiental y sanitaria vigentes aplicable para este tipo de sistemas.

De esta forma, este informe de práctica presenta un diagnóstico de la PTAP de los campamentos Tacuí y Cuní del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, en el que se integra la descripción del proceso, su capacidad, falencias y posibles mejoras en cuanto a su operación y mantenimiento, con el fin de garantizar el abastecimiento de agua potable para toda la población.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Apoyar al contrato CW67596 en los “servicios de mantenimiento en los campamentos Tacuí y Cuní del Proyecto Hidroeléctrico Ituango”, en lo referente a la evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

2.2 Objetivos específicos.

- Supervisar y controlar las labores de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de los campamentos, a fin de que cumplan con la normatividad legal vigente.
- Establecer alternativas de mejora para la PTAP de los campamentos Tacuí y Cuní del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, de manera que se garantice un servicio íntegro y de calidad.

3. MARCO TEÓRICO

Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) es un conjunto de estructuras, sistemas y operaciones unitarias de ingeniería de tipo físico, químico o biológico, cuya finalidad es tratar el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano (Aguasistec, 2016).

Las plantas de tratamiento pueden ser de tipo convencional o compactas. Las convencionales son aquellas donde cada uno de los procesos presentes en la potabilización se realizan en estructuras diferentes, como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Los tiempos de retención son muy altos y generalmente este tipo de plantas son empleadas para abastecer a grandes o medianas ciudades y municipios (Eduardoño, s.f). Por otro lado, el sistema de tratamiento compacto hace referencia a las plantas donde los procesos de coagulación, floculación y sedimentación ocurren en una misma unidad, para posteriormente enviar el agua ya tratada hacia los

filtros. El tiempo de retención en este tipo de plantas son bajos y son apropiadas para pequeñas comunidades (Acuatecnica, 2016). Este tipo de plantas a diferencia de las convencionales presentan ventajas como: ocupan poco espacio y se pueden ampliar fácilmente añadiendo módulos de clarificación y de filtración, son de fácil transporte, pueden operar de manera completamente automática, son altamente tecnificadas y diseñadas para consumir un mínimo de energía, entre otras (Hidritec, 2016).

Los procesos unitarios utilizados en el tratamiento del agua para consumo humano en los campamentos Tacuí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango, son los siguientes:

- **Cribado:** Consiste en hacer pasar el agua a través de rejillas o tamices que retienen los sólidos de tamaño mayor a la separación de las barras, como ramas, palos, envases, fibras y toda clase de residuos sólidos (Molina, 2018).
- **Sedimentación:** Operación unitaria utilizada para realizar la separación de partículas sólidas con mayor densidad de una matriz líquida (generalmente agua) con menor densidad. Este proceso se realiza en los desarenadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con la ayuda de la coagulación (Molina, 2018).
- **Coagulación:** Consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso. Las condiciones de pH y alcalinidad del agua influyen en la eficiencia de la coagulación. Este proceso se utiliza principalmente para remover la turbiedad y el color (Vargas, s.f).
- **Filtración:** Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, antracita, carbón activado, entre otros, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción, cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso (Maldonado, s.f).
- **Desinfección:** Hace referencia a la aplicación principalmente de cloro u ozono al agua tratada, con el fin de la inactivación de los microorganismos, especialmente los patógenos causantes de enfermedades (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas, s.f).

En la Figura 1 se presenta el esquema de la PTAP de los campamentos Tacuí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

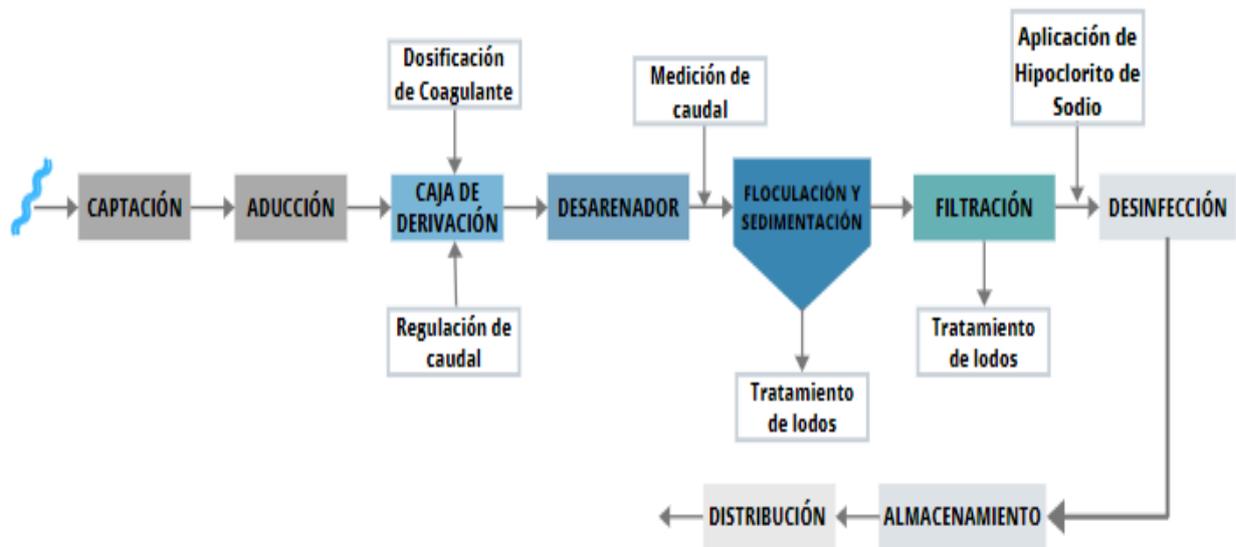


Figura 1: Tren de tratamiento de los campamentos Tacuí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Posteriormente, se presentan los aspectos legales que se emplean para el desarrollo y buen funcionamiento de la PTAP: Decreto 1575 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, 2007), por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, con el propósito de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, y Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

4. METODOLOGÍA

La metodología que se llevó a cabo para la evaluación de la PTAP, se presenta a continuación:

4.1 Fase 1: Diagnóstico

- Se recopiló toda la información acerca de la PTAP, manuales de operación y mantenimiento, caudal captado, dosificaciones de químicos aplicados, mantenimientos preventivos y/o correctivos realizados a la PTAP, entre otros.
- Se realizó un recorrido en el que se llevó a cabo una inspección visual de las condiciones físicas de la infraestructura existente y se verificaron los procesos implementados para la potabilización y su funcionamiento.

- Se elaboró una inspección inicial, en la cual se describió la ubicación, fuentes de abastecimiento, calidad de la fuente, características del proceso de tratamiento actual de la PTAP y su operación y mantenimiento.

4.2 Fase 2: Evaluación de los procesos y calidad del agua

- Se llevó un registro de la calidad del agua tratada (color, turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales, entre otros).
- Se realizó un análisis a los resultados obtenidos con base en la Resolución 2115 de 2007.
- Se evaluó la efectividad del tratamiento en cuanto a la calidad del agua tratada.

4.3 Fase 3: Identificación de falencias y alternativas de mejora

- Se identificaron las falencias de la PTAP de los campamentos Tacuquí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango, tanto en la parte operativa como de mantenimiento, formulando así mejoras para el sistema y el servicio de suministro de agua, dichas alternativas de mejora se esperan puedan ser aplicadas.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Fase 1: Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico de una PTAP se debe elaborar una inspección inicial con el fin de conocer el sistema, su capacidad y falencias.

5.1.1 Ubicación

- Nombre de la planta: Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de los campamentos Tacuquí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango.
- Localidades abastecidas: Campamentos Tacuquí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango.
- Localización: El sistema de potabilización se encuentra en la parte alta del campamento, en cercanías al poblado del corregimiento de El Valle, municipio de Toledo, Noroeste Antioqueño.
- Institución propietaria o administradora: EPM.

5.1.2 Fuentes de abastecimiento

La fuente de abastecimiento es la quebrada Tacuquí, en la cual se encuentra la bocatoma compuesta por una presa en concreto y una rejilla de fondo que funciona por gravedad (Anexo 1).

5.1.3 Características de la PTAP

- **Descripción:** La PTAP se encuentra conformada por el sistema de captación, aducción, caja de derivación, desarenador y un sistema de tratamiento compacto que consta de coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución.

Inicialmente se contaba con un sistema de tratamiento cuya capacidad es de 6 L/s, pero debido a que en dicho sistema no se removían turbiedades por encima de 100 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), típicas en temporadas de lluvias debido al arrastre de sedimentos, se construyó otro sistema de tratamiento en paralelo de 4 L/s.

A continuación, se presenta la descripción de cada unidad:

- *Captación:* Es un sistema hidráulico compuesto por una presa en concreto reforzado con una rejilla de fondo que funciona por gravedad.
- *Aducción:* El agua captada es conducida mediante tubería de 6 pulgadas desde la bocatoma hasta la caja de derivación y el desarenador.
- *Caja de derivación:* Diseñada para regular el caudal que viene de la bocatoma y entra al desarenador, a fin de garantizar el caudal de diseño de la PTAP. Además, es el punto que se adoptó para la aplicación del coagulante [policloruro de aluminio (PAC) al 15%], con el objeto de mejorar el tiempo de contacto y la mezcla del coagulante y/o floculante.
- *Desarenador:* Estructura de tipo convencional de flujo horizontal, construida en concreto, sus componentes son: cámara de entrada, sedimentación, pantalla de distribución y cámara de salida.
- *Sistema de tratamiento:* Tratamiento compacto compuesto por cuatro floculadores de manto de lodos de flujo ascendente, dos de 11.300 L cada uno y dos de 30.000 L cada uno; siete filtros cilíndricos verticales de flujo descendente con lechos de grava, arena y antracita, tres de ellos de 2.800 L cada uno y cuatro de 3.000 L cada uno, por último, un tanque de retrolavado de 3.600 L. La PTAP es automática, a la cual se le controla la dosificación de soda o ácido dependiendo al pH de entrada, la dosificación de coagulante dependiendo el pH óptimo de coagulación y la dosificación de hipoclorito con base al cloro residual. Esto se efectúa por medio de bombas dosificadoras.
- *Almacenamiento:* Consta de seis tanques, cuatro de ellos con capacidad de 150 m³ cada uno para un total de 600 m³; de los cuales 200 m³ son reserva para la red contra incendios y los 400 m³ restantes son utilizados para la red de distribución de agua potable en el campamento; y dos tanques adicionales de 75 m³ cada uno.

- **Distribución:** Se utiliza una tubería de 6 pulgadas que se reduce a 4, 3, 2 y 1 pulgada, con válvulas de paso y macromedidores que registran el consumo en los diferentes bloques de los campamentos Tacuí y Cuní.
- **Caudal de diseño:** El caudal de diseño para el primer sistema de potabilización es de 6 L/s y para el sistema alterno corresponde a 4 L/s. Por otro lado, el caudal de operación estimado durante la inspección inicial para los dos sistemas, es de aproximadamente 9 L/s.
- **Tipo de sistema:** La PTAP es modular, fabricada en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).
- **Operación y mantenimiento del sistema:** Generalmente la PTAP es operada durante 12 horas al día, tiempo en el cual es realizado un seguimiento operativo basado en el monitoreo periódico de la calidad del agua (pH, turbiedad, cloro residual y color) tanto de entrada como de salida del sistema, datos que son consignados en formatos manejados por el operario. En cuanto al proceso de operación, es importante aclarar que en condiciones normales de la quebrada no se dosifica coagulante, solamente se le aplica hipoclorito de sodio para la desinfección. Por otro lado, diariamente se controla y ajusta el caudal a tratar en cada una de las PTAP, se preparan y dosifican los químicos, se realiza la purga a los floculadores y el retrolavado a los filtros cuando las condiciones de operación lo ameriten. Dicho lavado de filtros y purga de los floculadores se realizan de forma automática mediante electroválvulas o válvulas neumáticas.

Además, se realiza diariamente una inspección, mantenimiento y remoción de sedimentos, arenas, hojas y demás elementos que se acumulan e impidan el normal funcionamiento de la bocatoma, caja de derivación, desarenador y red de aducción. También se realiza la limpieza de obras y el mantenimiento de zonas verdes. Por otra parte, se tiene establecido que cada seis meses se realice lavado interno y externo con agua a presión de cada uno de los floculadores, filtros, tanque de retrolavado y tanques de almacenamiento, esto con el fin de remover cualquier elemento adherido a las paredes, así como también limpieza a las tuberías, válvulas y demás componentes que hacen parte de los tanques y reposición y/o cambio de los lechos de los filtros.

5.2 Fase 2: Evaluación de los procesos y calidad del agua

- **Evaluación de los procesos y calidad del agua:** Al tratarse de una PTAP compacta, se dificulta observar el funcionamiento individual de cada uno de los elementos que componen el proceso de potabilización, debido a que estos se encuentran sumergidos por el agua a tratar. Por lo anterior, para lograr entender su funcionamiento a cabalidad, se tuvo

en cuenta la información obtenida por parte de los operarios de la PTAP, así como también los manuales de operación.

En la Tabla 1 se presenta el reporte de uno de los monitoreos realizados a la calidad del agua en los campamentos Tacuá y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango, para el cual, se tomaron tres muestras en las cajas de inspección en la parte alta, media y baja del campamento.

Tabla 1. Reporte de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua tratada de los campamentos Tacuá y Cuní.

PARÁMETRO ¹	UNIDADES	RESULTADOS			VALOR ADMISIBLE (Resolución 2115 de 2007)
		PARTE ALTA	PARTE MEDIA	PARTE BAJA	
Potencial de hidrógeno (pH)	-	8,33	8,01	8,06	6,5 - 9,0
Conductividad	µS/cm	419	421	430	50 - 1000
Turbiedad	UNT	<1	<1	<1	<2
Color aparente	UPC	6,6	<5	<5	<15
Cloro residual	mg Cl ₂ /L	1,35	1,36	1,39	0,3 - 2,0
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	129,74	130,18	131,28	200
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	187,7	191,87	190,28	300
Coliformes totales	UFC/100mL	<1	<1	<1	Ausencia
Coliformes fecales	UFC/100mL	<1	<1	<1	Ausencia

¹Análisis realizados en el laboratorio de Villa Hermosa (Medellín) de EPM.
Nota: Los valores de coliformes totales y fecales menores a 1.0 UFC/100mL equivalen a ausencia.

Con base en los resultados presentados en la Tabla 1, se determina que el agua es apta para el consumo humano, debido a que los valores para cada parámetro se encuentran dentro del intervalo establecido según la Resolución 2115 de 2007.

Por otro lado, se calculó el IRCA (índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano), el cual se refiere al grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano y debe ser calculado siempre para tener una idea del tipo de riesgo que se tiene en las aguas suministradas. Dicho índice fue calculado por cada muestra tomada mediante la Ecuación 1. Posteriormente se analizan los resultados y se asignan los puntajes de riesgo (Tabla 2).

$$IRCA = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignadas a todas las características analizadas}} * 100$$

Ec. 1

Tabla 2. Índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA).

SITIO DE MEDICIÓN	PUNTAJE IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO
PARTE ALTA	0,0	SIN RIESGO.
PARTE MEDIA	0,0	SIN RIESGO.
PARTE BAJA	0,0	SIN RIESGO.

Respecto a la Tabla 2 es preciso mencionar que el IRCA está calculado con base en los parámetros analizados del monitoreo realizado (pH, turbiedad, color aparente, cloro residual, alcalinidad, dureza total, aluminio residual, coliformes totales y coliformes fecales). Los niveles de riesgo presentados en cada uno de los puntos monitoreados son acordes con los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de agua potable.

- **Determinación de la eficiencia de la PTAP:** Mediante lecturas de turbiedad tomadas a la entrada y salida del sistema de tratamiento, se calculó la eficiencia de remoción de material suspendido. Para ello, se escogieron las lecturas de tres momentos del día para tener en cuenta los cambios del agua a la entrada y salida de la PTAP. En la Tabla 3 se presenta un promedio de los resultados obtenidos.

La eficiencia fue calculada haciendo uso de la Ecuación 2.

$$E(\%) = \frac{\text{Turbiedad entrada} - \text{Turbiedad salida}}{\text{Turbiedad entrada}} * 100$$

Ec. 2

Tabla 3. Eficiencia del sistema de tratamiento para la remoción de material suspendido (turbiedad).

TURBIEDAD (UNT)	HORA		
	09:00	13:00	17:00
ENTRADA AL SISTEMA	2.87	2.89	2.90
SALIDA DEL SISTEMA	0.72	0.56	0.61
EFICIENCIA (%)	75	81	79

5.3 Fase 3: Identificación de falencias y alternativas de mejora

Después de revisar la información recopilada tanto en la documentación existente como en lo obtenido en los recorridos realizados a la PTAP y la información obtenida por parte de los encargados, se determinó lo siguiente:

- El sistema de tratamiento de agua inicial (6 L/s) presenta deficiencias en cuanto a la remoción de turbiedades por encima de 100 UNT, mientras que el sistema más reciente (4 L/s) tiene falencias en el proceso de desinfección; sin embargo, se cumple con la Resolución 2115 de 2007 como muestran los resultados de la Tabla 1, esto debido a que los dos sistemas se complementan.
- En temporada de lluvias el agua cruda llega con alta turbiedad, lo que genera mayor acumulación de lodos en el fondo de los sedimentadores y filtros, aumentando así la probabilidad de que la PTAP disminuya su eficiencia y los retrolavados no sean suficientes para evacuar los lodos acumulados. Por esto se recomienda tener en cuenta realizar las purgas de lodos con mayor frecuencia para evitar una posible colmatación de la unidad de sedimentación por aumento en la capa de lodos, al igual que realizar con mayor frecuencia purgas a los tanques de almacenamiento y a la red de distribución a fin de evacuar posibles sedimentaciones de lodos y evitar que se alteren las condiciones de turbiedad del agua.
- En cuanto al mantenimiento interno y externo que se debe realizar cada seis meses a los flocladores, filtros, tanque de retrolavado y tanques de almacenamiento, se presentan demoras en la ejecución de dicha actividad. Esto condujo a que hubiera presencia de caracoles en los tanques de floclación. Como alternativa de mejora, se recomienda realizar el mantenimiento adecuado y periódico de las unidades de la PTAP, debido a que el lavado de los tanques se considera una de las actividades que mayor atención merece; del cuidado y frecuencia con que se realice depende la calidad y eficiencia del agua entregada por la PTAP, además de evitar daños futuros.

6. CONCLUSIONES

- Como resultado de la evaluación es posible identificar las deficiencias existentes, bien sea de operación o mantenimiento, además se obtiene información valiosa para la determinación de las condiciones de mejora de la eficiencia del sistema. En ese orden de ideas, al realizar el diagnóstico y la evaluación técnica y operativa fue posible evidenciar que la PTAP de los campamentos Tacuí y Cuní del proyecto Hidroeléctrico Ituango cuenta con sus estructuras en buen estado, sin embargo, presenta algunas deficiencias en cuanto al mantenimiento las cuales no afectan considerablemente el proceso de potabilización, pero que deben ser corregidas para mejorar el tratamiento y distribución del agua.

- Los resultados presentados evidencian un agua de buena calidad, presentando ausencia de microorganismos y de agentes químicos que puedan llegar a afectar la salud de las personas permanentes y visitantes de los campamentos Tacuí y Cuní.
- Con base en la evaluación realizada, se determinó que la eficiencia de remoción de material suspendido de la PTAP es de aproximadamente 80%, resultado que muestra que la PTAP tiene una correcta producción y operación asociada también a las bajas turbiedades en el afluente.
- Es claro que la operación adecuada de las PTAP es fundamental para garantizar la producción continua de agua potable. Por ende, el operador tiene la responsabilidad de desarrollar todas las actividades de operación y asegurar la eficiencia de la PTAP. Por esta razón, no está de más realizar periódicamente capacitaciones al personal sobre las buenas prácticas de acuerdo a los manuales de operación establecidos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuatecnica. (2016). *Características de una planta compacta de tratamiento de agua*. Recuperado de: <https://acuatecnica.com/caracteristicas-una-planta-compacta-tratamiento-agua/>
- Aguasistec. (2016). *Solución en Tratamientos de agua. Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP*. Lima, Peru. Recuperado de: <https://www.aguasistec.com>
- Castro Garzón, H., Rubio Cruz, M. A., & Rodríguez Miranda, J. P. (2012). Análisis de las coberturas de acueducto en el departamento del Meta. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89640734010>
- Eduardoño. (s.f). *Plantas de potabilización. Procesos convencionales*. Recuperado de: <https://www.eduardono.com/ambiental/fichas/PTAP>
- Hidritec. (2016). *Plantas Compactas para tratamiento de agua potable*. Recuperado de: <http://www.hidritec.com/hidritec/plantas-compactas>
- Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas. (s.f). *Desinfección y métodos de desinfección del agua*. Recuperado de: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/desinfeccion5.pdf>
- Maldonado, V. (s.f). Capítulo 9 - Filtración. p. 83. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>
- Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007. República de Colombia, Bogotá.
- Molina, F. *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*. [Diapositivas de PowerPoint]. Universidad de Antioquia - Medellín, 2018.
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. República de Colombia, Bogotá.
- Vargas, L. (s.f). Capítulo 3 - Procesos unitarios y plantas de tratamiento. p. 105. Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf>

ANEXO 1: REGISTRO FOTOGRÁFICO PTAP CAMPAMENTOS TACUÍ Y CUNÍ.



Foto 1. Captación.



Foto 2. Caja de derivación.





Foto 3. Desarenador.





Foto 4. Sistema de tratamiento.



Foto 5. Almacenamiento.

