



INFORME DICTAMEN SOBRE PRONUNCIAMIENTO UMAPS AL SISTEMA DE LODOS

PROYECTO: MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE DE
EL PICACHO

HN-AMDC-323709-CW-RFB



ciudad de
buen
coraz**ón**



UMAPS

UNIDAD MUNICIPAL DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO

NOVIEMBRE, 2024

HYTSA
ESTUDIOS Y PROYECTOS S.A.

CONASH 
ESTUDIO | SUPERVISIÓN | DISEÑO

TABLA DE CONTENIDO

1.	CARTA DE REMISIÓN.....	4
2.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.1	SINOPSIS DEL INFORME	6
2.2	ANTECEDENTES.....	6
3.	SISTEMA DE LODOS	8
3.1	SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA	8
3.2	OPERACIÓN SIN MEJORAS EN LA PTAP EL PICACHO	8
3.3	OPERACIÓN CON MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE EL PICACHO HN-AMDC-323709-CW-RFB.....	10
3.4	TRATAMIENTO DE FANGOS Y EVACUACIÓN DE LODOS	11
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
5.	DICTAMEN SOBRE PRONUNCIAMIENTO UMAPS AL SISTEMA DE LODOS	23
6.	ANEXOS.....	25



CARTA DE REMISIÓN

1. CARTA DE REMISIÓN

Tegucigalpa M.D.C.
27 de diciembre de 2024

**UNIDAD COORDINADORA DE PROYECTOS
ALCALDÍA MUNICIPAL DEL DISTRITO CENTRAL
SU OFICINA**

Estimados:

En conformidad con el Contrato No. CF-004-ID6460-HN/AMDC/2023: “*SUPERVISIÓN DE LAS MEJORAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL PICACHO*”, y específicamente con la sección IV - ACTIVIDADES DE SUPERVISIÓN DE OBRAS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO y Sección VIII - ENTREGABLES del APÉNDICE A: TÉRMINOS DE REFERENCIA, del proyecto en cuestión, tenemos el agrado de remitir adjunto el Informe Especial, denominado “**INFORME DICTAMEN SOBRE PRONUNCIAMIENTO UMAPS AL SISTEMA DE LODOS**”, atendiendo las observaciones realizadas por el Banco Mundial.

Se remite un original y una copia en físico y 1 copia digital en USB en formato PDF y Word.

De Usted con toda consideración.

Atentamente,

Consorcio HYTSA-CONASH

Ronald Agüero
Gerente de Proyecto
Consorcio HYTSA-CONASH

: Archivo



INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1 SINOPSIS DEL INFORME

En seguimiento al Pronunciamiento de parte de la UMAPS en referencia a la justificación del Tratamiento de los Lodos de proyecto en mención (ver correspondencia adjunta), enviado vía correo electrónico el 14 de junio de 2024, en donde recomiendan que se excluyan las instalaciones de Tratamiento de Fangos previstas en los TdR del Proyecto de la PTAP El Picacho, y donde expone que las condiciones iniciales cuando se elaboraron los TdR al presente han variado por cambios en la forma del suministro de afluente de agua provenientes de las diversas obras de toma de las fuentes que abastecen al Proyecto en cuestión, así como el cambio del sistema operativo con la puesta en marcha de la nueva concepción de potabilización debido a la instalación y mejoramiento de las instalaciones por el presente Proyecto, y basados en la verificación del funcionamiento de la planta a la presente fecha, esta Supervisión comenta lo siguiente:

2.2 ANTECEDENTES

El Sistema de Abastecimiento de Agua de El Picacho, entra en operación en noviembre de 1997, la cual se nutre de varios nacimientos de agua ubicados en el sector Noreste de la ciudad Capital en el denominado - Picacho. La mayoría de los cursos de agua captados o provienen de bocaminas, zonas de intervención agropecuaria o Zonas de la Reserva Ecológica denominada “La Tigra” que está comprendida en los Municipios de Valle de Ángeles, Santa Lucia y Tegucigalpa.

Durante más de medio siglo las aguas conducidas a los tanques ubicados en el Parque de Las Naciones Unidas, sita en el Cerro El Picacho, por su óptima calidad de agua, no requerían adicionales tratamientos potabilizadores más que desinfección de agua. Pero en ese ínterin se fueron degradando la conservación ambiental de las cuencas y subcuencas aportantes, lo que dio como consecuencia la necesidad a finales de los años 80’s el diseño de una Planta Potabilizadora (PTAP) que garantizase la calidad de agua a ser suministrada al abonado del sistema de las ciudades de Tegucigalpa-Comayagüela de acuerdo con las normativas Nacionales (Decreto No 58) e Internacionales (OPS/OMS).

Fue así, que en 1989 se contrató al Consorcio Centro de Computo - IPESA para realizar el diseño final de esas instalaciones, concebidas para una capacidad máxima de 900 l/s (78,000m³/día), bajo la modalidad de módulos potabilizadores que según los estudios hidrológicos de la macro cuenca aportante deberían ser de 300 l/s cada uno. La PTAP debía tener la capacidad de funcionar indistintamente bajo la modalidad de Aireación + Coagulación + Filtración Directa como de Aireación + Coagulación + Floculación + Decantación + Filtración.

Dada la alta variabilidad de las calidades de agua en Estiaje como en el Período de Lluvia, cuyas Turbiedad podían variar de 5 a 80 NTU, Color 15 a 130 UC, coincidiendo los valores picos y bajíos de ambos parámetros en la misma época del año. Se previó además a la PTAP de un sistema de recirculación de aguas de retro lavado de aguas de lavado de filtros y un sistema de tratamiento por espesamiento de lodos de los fangos decantados mediante un depósito estático o laguna de sedimentación.

Con posterioridad fueron adicionados cuatro filtros (bajo financiamiento del gobierno de Japón) con el fin de aprovechar el incremento e de caudal con la incorporación de nuevas fuentes hasta acumular un caudal en el régimen estacional de lluvias de hasta 1,100 l/s.



SISTEMA DE LODOS

3. SISTEMA DE LODOS

3.1 SITUACIÓN ACTUAL Y FUTURA

En el acontecer temporal al presente, la PTAP de “El Picacho”, bautizada bajo el nombre de Complejo Potabilizador Ing. Roberto Gierlings, fue sometido a diversas reparaciones y/o ampliaciones, con mayor incidencia en su sistema de desinfección (cloro gas) de agua, construcción de un Tanque de Contacto, reparaciones puntuales de unidades de floculación de agua (tipo vertical y en carrusel), cambio de boquillas de fluidificación de aire en el retrolavado de filtros con aire – agua y sistemas de dosificación de productos químicos. En 2023, se llevaron a cabo mejoras en las afueras de la PTAP de El Picacho, mediante la construcción de retenes de desarenación localizadas previo de las obras de toma de agua y cajas de captación, lo que ocasionaron en la actualidad una disminución significativa en la turbiedad del caudal del influente a la PTAP.

En 2022, dado el deterioro de las instalaciones, y con la aplicación de la Ley Marco y el traspaso del Servicio de Agua a la Municipalidad del Distrito Central con la creación de la Unidad Municipal de Agua Potable y Saneamiento (UMAPS), y con fondos del Banco Mundial a través de Proyecto para Fortalecer los Servicios de Agua en el Distrito Central (el Proyecto), se contrató al Consorcio Hazen-Sower-Saybe para el Diseño de la Mejoras de la PTAP El Picacho, el cual incluyó la evaluación de las instalaciones y la elaboración de los Documentos de Licitación y Términos de Referencia (TdR) para la rehabilitación completa y mejoramiento de las instalaciones.

En 2024, inicia la construcción con la empresa DICONSA, así como la Supervisión con el Consorcio HYTSA-CONASH.

3.2 OPERACIÓN SIN MEJORAS EN LA PTAP EL PICACHO

La producción de lodos está estrechamente relacionada con la dosificación de productos químicos como los polímeros y el sulfato de aluminio. Dada a que el sulfato de aluminio (alumbre) y los polímeros se utilizan como coagulantes y floculantes, estos productos químicos ayudan a aglutinar las partículas suspendidas en el agua, formando flóculos más grandes los cuales se sedimentan en el fondo de los tanques de sedimentación, formando lodos. La cantidad de lodo producido depende de la cantidad de coagulante y floculante utilizado, así como de la cantidad de partículas suspendidas en el agua cruda. De ahí la importancia de la dosificación de los productos químicos la cual debe ser cuidadosamente controlada, una dosificación excesiva puede aumentar la producción de lodos y los costos de manejo, mientras que una dosificación insuficiente puede resultar en una mala calidad del agua tratada.

Como se indicó anteriormente, las instalaciones han sido sometidas a varias reparaciones pretéritas, tanto de índole externas como internas. Entre las cuales está:

- el mejoramiento de las obras de toma de las diversas fuentes que abastecen la PTAP,
- obras de retenida en las 21 presas y
- la reparación de caja central que funciona como un desarenador;

A continuación, se muestran imágenes de las reparaciones realizadas en 2023, en las afueras de la PTAP de El Picacho:



Vista de las obras de retenida en presas



Reparación de caja central que funciona como un desarenador
Imágenes 3.1 – Obras de Mejoramiento en Tomas de Agua Aguas Arriba PTAP El Picacho
Fuente de las imágenes: UMAPS

Lo que ha incidido en el mejoramiento de la calidad de agua a tratarse, reduciendo de forma significativa los niveles de turbiedad, color y sólidos en suspensión del agua transportada, así como el consumo anual de productos químicos empleados en su potabilización (Sulfato de Aluminio, Polímeros, Hidróxido de Calcio) y por ende también disminuyendo la cantidad de los sólidos retenidos en cada uno de los Decantadores con que la PTAP cuenta, pasando de los 5.0 m3 anuales reportados por los operadores de las instalaciones a cerca de la mitad.

Antes de las mejoras implementadas en el proyecto, la dosificación de químicos en la planta se realizaba de manera manual y sin parámetros de control, lo que resultaba en una alta producción de lodos debido a la sobredosificación de productos como el sulfato de aluminio y los polímeros.

Sin embargo, bajo la actual gestión de Planta de la PTAP, se han establecido controles y mediciones precisas en la dosificación de químicos. Esto ha mejorado la calidad del agua. Además, implementará la recirculación de las aguas de retro lavado de filtros en el sistema de tratamiento. Esta práctica se lleva a cabo porque el lodo contiene microorganismos y partículas que favorecen la coagulación y floculación del agua, lo que a su vez contribuye a reducir el consumo de químicos.

3.3 OPERACIÓN CON MEJORAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE EL PICACHO HN-AMDC-323709-CW-RFB

Las mejoras de la PTAP financiadas bajo el Proyecto involucra la reparación total de cada uno de los tres módulos de floculación de las aguas ($Q_{\min}=300$ l/s), rehabilitación de unidades filtrantes, reparación del tanque de contacto de solución desinfectante, así como el cambio de los equipos de dosificación de los productos químicos empleados, y automatización de varias acciones realizadas hasta el presente en forma manual. Ello aumentará aún más la eficiencia de los procesos y por ende mejorando la calidad de agua a suministrarse al usuario. Además, las con instalaciones una vez rehabilitadas se pondrá en funcionamiento el existente Tanque y Equipos de Recirculación de Aguas de Lavado de Filtros, lo que generará los siguientes beneficios funcionales, económicos y ambientales:

- Ello con llevará una reducción del consumo de productos químicos y además una reducción del desperdicio de agua, aumentando la oferta del producto al abonado del sistema.
- La recirculación contiene coagulantes y floculantes residuales que mejoran la eficiencia de estos procesos en el tratamiento del agua cruda.
- Al recircular las aguas y lodos del lavado de filtro, se disminuye la cantidad de residuos que necesitan ser gestionados y eliminados, lo que disminuye los costos operativos y el impacto ambiental de la zona.
- La recirculación permite recuperar una parte significativa del agua contenida en los lodos, que puede ser reutilizada en el proceso de tratamiento, mejorando la eficiencia del uso del agua.
- Al reducir la necesidad de comprar y dosificar nuevos productos químicos, se pueden lograr ahorros significativos en los costos operativos.
- La recirculación puede ayudar a estabilizar los lodos, reduciendo su volumen y mejorando su manejabilidad para el tratamiento y disposición final.
- Al minimizar la cantidad de lodos que deben ser transportados y eliminados, se reduce el riesgo de accidentes medioambientales y la huella de carbono asociada al transporte. Dichaa disminución de accidentes medioambientales se logra al reducir significativamente el volumen de lodos que necesita ser transportado y eliminado. El transporte y eliminación de grandes cantidades de lodos generan riesgos de derrames y fugas de sustancias contaminantes que pueden afectar negativamente al medio ambiente. Al recircular los lodos dentro del propio sistema de tratamiento, se minimiza el tránsito de camiones y otros vehículos de transporte, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y la posibilidad de accidentes durante el transporte. Además, al disminuir la cantidad de residuos a gestionar, se optimizan las operaciones de manejo de lodos, permitiendo un control más riguroso y eficiente de los procesos, lo cual contribuye a una gestión más segura y sostenible de los residuos. Estos esfuerzos conjuntos no solo protegen el medio ambiente, sino que también promueven prácticas sostenibles y responsables en la gestión de aguas residuales.

La siguiente imagen ilustra el proceso de recirculación de lodos.

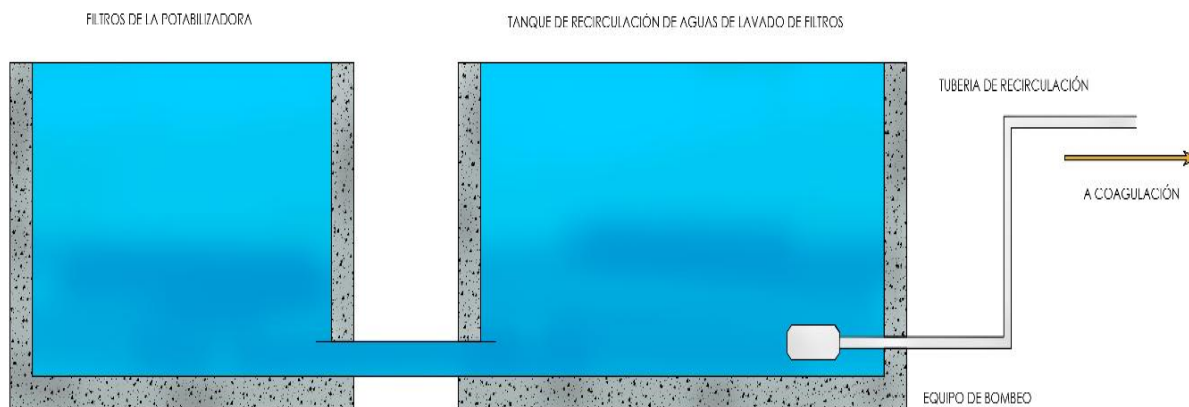


Imagen 3.2 – Línea Actual de Producción y Recirculación de Aguas de Lavado de Filtros

Fuente de las imágenes: HYTSA-CONASH

Adicional a lo anterior, con la inclusión del proceso de automatización en la dosificación de productos químicos como parte de las mejoras financiadas bajo el Proyecto, se podrá optimizar aún más la producción de lodos y garantizar una alta calidad del agua tratada.

3.4 TRATAMIENTO DE FANGOS Y EVACUACIÓN DE LODOS

En 2022 y años anteriores, el proceso en la planta consistía en acumular los fangos de los Decantadores y evaporar su líquido, lo que resultaba en una producción promedio histórica de Lodos Digeridos de 5.0 m³. Sin embargo, en 2024, esta cifra se ha reducido significativamente gracias a la implementación de la recirculación de aguas y lodos de retrolavado de filtros, así como a las mejoras en la obra toma en las fuentes de abastecimiento y en las cuencas hidrográficas, en virtud de las Medidas de Conservación Ambiental adoptadas. En Honduras, las normas ambientales para el manejo de lodos están reguladas principalmente por la Ley General del Ambiente y el Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos. Aquí hay algunas medidas de conservación ambiental que se consideraron en el presente proyecto:

- ✓ Tratamiento y Reciclaje de Lodos: Los lodos deben ser tratados adecuadamente antes de su disposición final.
- ✓ Recirculación de Lodos: La recirculación de lodos dentro del sistema de tratamiento permite recuperar una parte significativa del agua contenida en los lodos, mejorando la eficiencia del uso del agua y reduciendo la cantidad de residuos que necesitan ser gestionados.
- ✓ Reducción de Productos Químicos: Al recircular los lodos, se disminuye la necesidad de comprar y dosificar nuevos productos químicos, lo que puede generar ahorros significativos en los costos operativos y reducir el impacto ambiental.
- ✓ Minimización del Transporte: Al reducir la cantidad de lodos que deben ser transportados y eliminados, se minimiza el riesgo de accidentes medioambientales y la huella de carbono asociada al transporte.
- ✓ Manejo Seguro y Sostenible: Es fundamental seguir las normas técnicas y operativas establecidas por las autoridades ambientales para garantizar un manejo seguro y sostenible de los lodos.

Las autoridades ambientales delegadas, en este caso a través de la Unidad Municipal Ambiental (UMA) de la AMDC, quienes son también los responsables del manejo de la PTAP El Picacho y por ende los responsables de autorizar y manejar los subproductos generados en dicha potabilizadora.

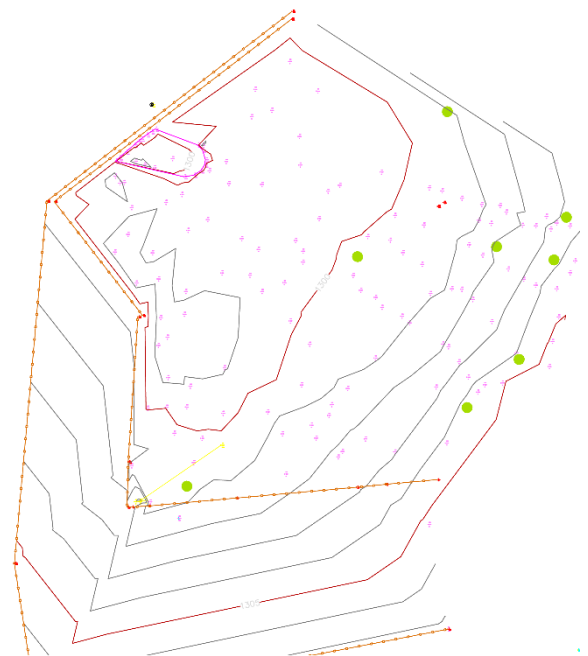
Actualmente la PTAP de El Picacho, cuenta con un área aproximada de 115 m² (13 m x 18 m) para la disposición de fangos que llegase a producirse, el cual posee un muro perimetral de mampostería y concreto en forma de U de 1.55 m de altura (ver ubicación en imagen 3.3), la cual capta las descargas de cada 3 meses al año de vaciado de cada una de las tolvas de los 4 decantadores en 2 días consecutivos, o sea a un caudal de 0.324l/s entre 6 a 8 días.

El lecho del depósito es un terreno natural, en donde ocurre el proceso de filtración natural y sumado a la evaporación superficial al aire libre, los fangos que fuesen depositados se convierten en lodo seco o arcilla con un volumen menor a 5.0 m³, el cual podrá ser removido en forma manual (utilizando el siguiente equipo de protección personal: botas de hule, casco y mascarillas) y evacuados con la retroexcavadora y en el camión adquirido en el presente proyecto al sitio autorizado por la Autoridad Competente (UMA-AMDC) al “botadero a cielo abierto municipal” operado por la AMDC (ubicado aproximadamente a unos 6.5km del límite norte de la ciudad en el margen de la carretera que conduce al departamento de Olancho) si se llegará a necesitar, ya que el depósito en cuestión nunca en su historia ha llegado a su almacenamiento máximo de lodos, dada la poca cuenca de drenaje pluvial, aguas arriba de la estructura existente, la misma no es afectada por precipitaciones pluviales intensas por lo que no se corre el peligro de inundaciones que generen rebose en dicho motivo.

Además, dicha estructura cuenta con salida de alivio a través de un tubo de rebose de 24” de diámetro por cualquier contingencia. Se hace notar que los desagües pluviales de la planta potabilizadora no drenan hacia dicha estructura, sino que lo hace de manera independiente. Así mismo, los lodos depositados en dicho sitio no representan para su manejo un material de alto riesgos sino uno de mediano a bajo riesgo, tal como se comentará más adelante del presente informe.

Cabe mencionar que no se dispone de datos estadísticos precisos que reflejen los volúmenes que se producirán con el nuevo contexto. Sin embargo, se puede inferir que estos volúmenes serán significativamente inferiores a los promedios anuales anteriores al 2023, considerando que esta Supervisión verificó vía levantamiento topográfico que el nivel superior de cota del lecho de lodos medidos al inicio del proyecto (diciembre 2023) con respecto a la presente fecha (noviembre 2024) sigue siendo el mismo (1,300 msnm), no teniendo un aumento de volumen de lodos por casi todo un año de operación de la PTAP El Picacho desde que las mismas ha implementado la recirculación de lodos en su proceso de operación.

Dicho levantamiento topográfico, valida la poca y casi nula producción de lodos por parte de la planta desde el periodo de intervención por el presente proyecto, así como las mejoras realizadas a las áreas de captación de las cuencas aguas arriba de la PTAP El Picacho.



Imágenes 3.3 – Levantamiento Topográfico del Lecho de Lodos por la Supervisión

Las siguientes imágenes ilustran primeramente la ubicación del lecho de lodos de la PTAP El Picacho y luego se ilustra el proceso actual de la línea de producción de fangos.



Imagen 3.4 – Ubicación del Sistema Existente de Lodos de la PTAP El Picacho (Ubicación en el lado norte de la PTAP)
Fuente de las imágenes: HYTSA-CONASH

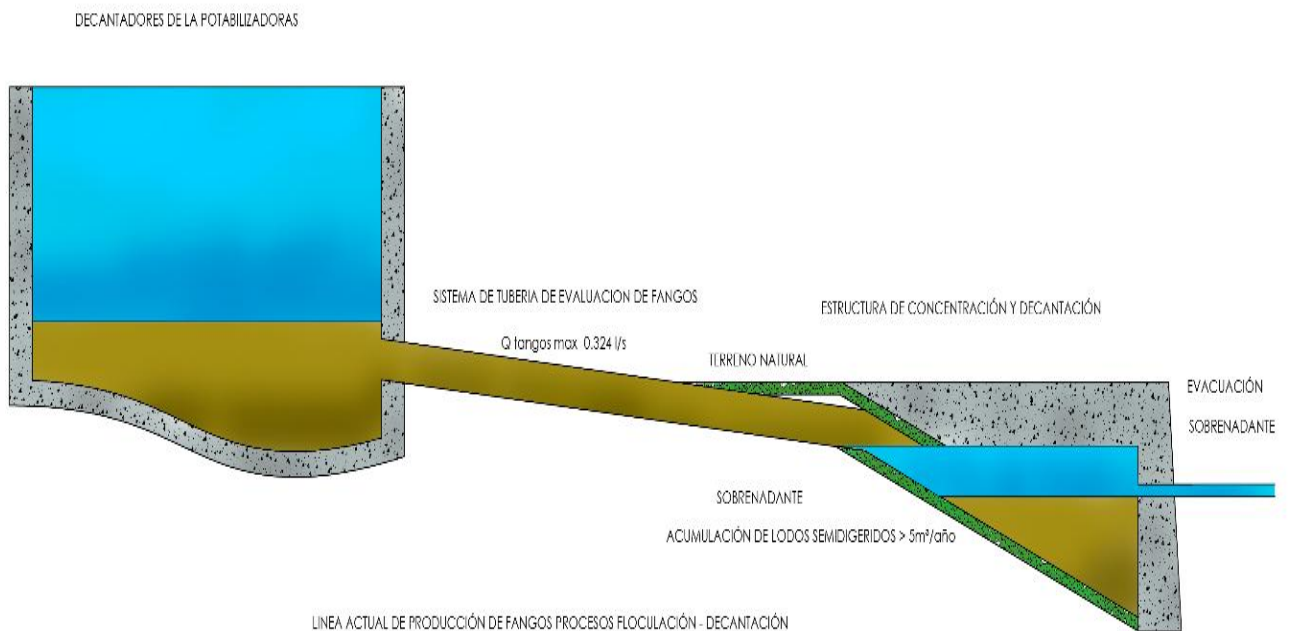


Imagen 3.5 – Línea Actual de Producción de Fangos Procesos Floculación – Decantación.
Fuente de la imagen: HYTSA-CONASH

Los lodos secos o espesados:

Estos tienen una composición contaminante, no solo por los remanentes de los productos químicos utilizados en los procesos de potabilización de las aguas (Sulfatos, Calcio, Polímeros), sino también por la composición intrínseca que el agua cruda ha asimilado en sus cuencas hidrográficas de donde proviene, que pueden ser:

- De la composición geológica de la Cuenca Hidrográfica: Bacteriana, Hierro, Manganeseo, Magnesio, Sodio, Potasio, Ácidos Orgánicos provenientes de la Descomposición de Materia, etc.
- De actividad Humana: Cobre Rojo, Fungicidas, Herbicidas, Insecticidas, etc.
- De Bocaminas, con residuos de Oro, Plata, Plomo, Cadmio, o sus procesos de extracción pretéritos y ya no en operación, como: Mercurio, Arsénico

Como se aprecia, el listado para la determinación de la caracterización de los Fangos Decantados es compleja, máxime si el sistema de muestreo se requiere a diferentes condiciones estacionales y meteorológicas a que estén sometidas La Cuencas Hidrográficas aportantes y otro hecho importante a tomar en cuenta representa el tiempo de residencia del fango en la tolva de los decantadores (frecuencia de purga).

En el marco de las mejoras de la PTAP financiadas bajo el Proyecto, se procedió a realizar un muestreo para análisis de la calidad de contaminación de fangos Secos (evaporados) y Húmedos (frescos) en un Laboratorio Local Certificado, cuyos resultados pueden apreciar en el Anexo adjunto, expresados en mg/kg los resultados, por tener que ser diluidas las muestras para su análisis. De esos resultados se puede deducir:

- Tanto en los resultados (ver Anexo 6.2) de las muestras húmedas como secas, se encontró que los niveles de metales y sustancias toxicas contaminantes (Arsénico, Mercurio, Plomo, Zinc Cobre, Hierro, etc.) se encuentran dentro de los límites naturales de las composiciones geológicas de los terrenos de las fuentes de agua abastecedoras, por lo tanto, no representan un alto grado de contaminación.
- Debido a los químicos utilizados en el proceso de potabilización del agua, se determinaron trazas de esos productos, tales como Sulfatos, Calcio y otros.
- De manera anormal se encontró la presencia de Colifórmes en sus dos formas, totales y termotolerantes, los que pueden ser generados ya sea por contaminación externa en el estanque de desecado o en la manipulación y/o dilución de las muestras a ser analizadas. Ello implicaría en el primer caso la necesidad de irrigación periódica de los lodos secos o húmedos en el estanque de soluciones desinfectantes de Hipoclorito de Calcio a concentraciones de entre 5 al 10% y tomas periódicas de muestras mensuales a trimestrales para garantizar la inocuidad bacteriológica de los lodos desecados antes de su transportación y disposición final.

A continuación, se muestran imágenes de la toma de muestras para el análisis de la calidad de contaminación de fangos, en la PTAP de El Picacho:



Toma de muestra fango seco (evaporado) en el área actual de descarga de lodos de la PTAP El Picacho



Toma de muestra fango húmedo (fresco) en Caja de Registro del Decantador



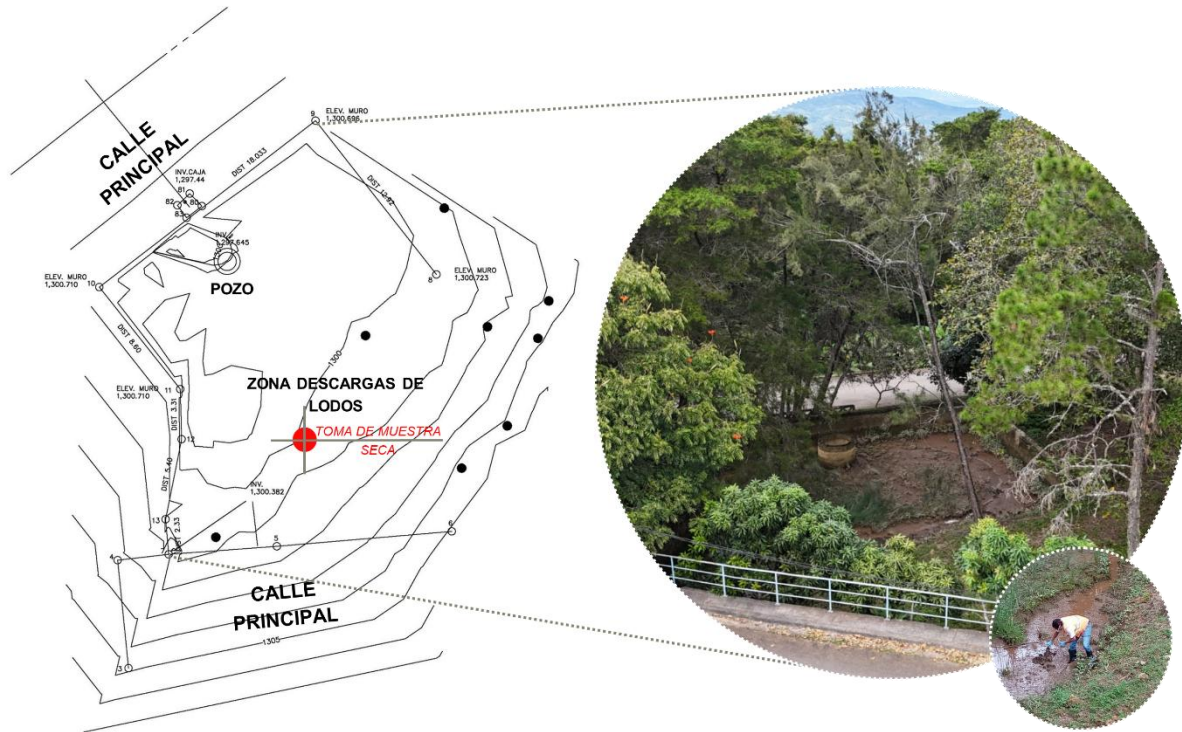
Muestra de fango húmedo (fresco)



Almacenamiento de muestras para su análisis

Imágenes 3.6 – Toma de muestra fango seco (evaporado) y Toma de muestra fango húmedo (fresco)

Fuente de las imágenes: HYTSA-CONASH



Muestra Seca



Muestra Húmeda



Imágenes 3.7 – Ubicación de Toma de Muestra Seca y Húmeda
Fuente de las imágenes: HYTSA-CONASH

La praxis y de acuerdo a datos bibliográficos, se ha demostrado de forma puntual, que dicho material contiene varios tipos de contaminación, sean esta de carácter inorgánico como orgánico, por lo que antes de su disposición final, se debe dar un tratamiento de espesamiento y desecación apropiado antes de su destino final, tal como se está realizando actualmente, siendo considerado ese **Material de Mediano a Bajo Riesgo**.

La determinación final aproximada del tipo y concentración de los contaminantes del lodo, conllevaría un estudio intensivo y estadístico de por lo menos un año de muestreo y análisis de la calidad del lodo, debido a los cambios estacionales, meteorológicos y tipo de explotación humana de las diferentes cuencas hidrográficas que suplen de agua cruda a la PTAP, lo que implicaría ubicarse fuera del Periodo Contractual del Presente Proyecto, por lo que se recomienda que los Operadores de la PTAP El Picacho lo realicen. Dicha recomendación será planteada nuevamente en nuestro Informe Final de Supervisión para consideración de la UMAPS.

Al reducirse los volúmenes históricos por las razones antes apuntadas y al dotarse a las instalaciones de la PTAP con el presente Proyecto de equipamiento mecanizado (volqueta y retroexcavadora), la Supervisión de acuerdo a los TdR del Proyecto, acuerdos y lineamientos contractuales del Préstamo con el Organismo Financiero, **se pronuncia en la No Obligatoriedad** de dotar a las instalaciones operativas del Proyecto de un nuevo mecanismo tratamiento y disposición final de los fangos provenientes de los decantadores laminares de la planta potabilizadora de El Picacho, cuyas obras deben ser excluidas de las obligaciones. UMAPS dará el respectivo mantenimiento a los caminos de acceso y cuentas existentes. Recalcando que los desechos depurados deberán ser evacuados para su disposición final en el “botadero a cielo abierto municipal” operado por la AMDC (ubicado aproximadamente a unos 6.5km del límite norte de la ciudad en el margen de la carretera que conduce al departamento de Olancho).

La gestión de los lodos será responsabilidad de los operadores de la planta de tratamiento bajo la supervisión de la Gerencia de Operaciones de la UMAPS y UMA-AMDC, asegurando un manejo integral conforme a las normativas ambientales vigentes, tales como:

- Legislación Aplicable al Manejo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable y Desechos Sólidos y Líquidos
- Ley General del Ambiente (Decreto No. 104-93): Establece las disposiciones generales para la protección y conservación del ambiente, incluyendo la gestión de residuos sólidos, líquidos y lodos.
- Ley General de Aguas (Decreto No. 118-2003): Regula el uso, aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos en el país, incluyendo las actividades que generan lodos y desechos líquidos.
- Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (Decreto No. 118-2003): Norma la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento, abarcando el manejo, tratamiento y disposición final de lodos y desechos generados en el proceso.
- Reglamento General de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento (Acuerdo No. 006-2004): Establece disposiciones específicas para la gestión de lodos y otros residuos generados en sistemas de tratamiento.
- Reglamento de Aguas Residuales (Acuerdo Ejecutivo No. 35,598): Normas técnicas para el manejo, tratamiento y disposición de aguas residuales y lodos generados en procesos de potabilización.
- Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable (Acuerdo No. 184-95): Define parámetros que afectan la generación de lodos y la calidad del agua tratada.
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Decreto No. 37-2008): Regula la gestión de residuos sólidos, promoviendo prácticas sostenibles en su manejo, recolección, tratamiento y disposición final.
- Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (Acuerdo No. 0422-2009): Complementa la Ley de Residuos Sólidos y detalla las medidas necesarias para un manejo adecuado de los mismos.
- Ley de Municipalidades (Decreto No. 134-90): Establece la obligación de las municipalidades de manejar los desechos sólidos y líquidos, incluyendo la disposición final en rellenos sanitarios.

- Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (Decreto No. 98-2007): Incluye aspectos relacionados con la conservación ambiental y la prevención de la contaminación por residuos sólidos y líquidos.
- Ley de Salud (Decreto No. 65-91): Contempla disposiciones relacionadas con la gestión de residuos líquidos y sólidos para garantizar la salubridad pública.
- Código de Sanitario (Decreto No. 154-96): Proporciona lineamientos generales sobre el manejo de residuos que afectan la salud pública.

Este listado integra las normativas relevantes para garantizar una gestión adecuada de lodos, desechos sólidos y líquidos, conforme a las leyes vigentes en Honduras.

El almacenamiento temporal de los lodos debe considerar criterios de salud pública para minimizar los impactos negativos, como la emisión de olores que puedan afectar a las comunidades cercanas. Para ello, se recomienda la implementación de sistemas de ventilación adecuados, uso de agentes neutralizantes de olores y monitoreo constante de la calidad del aire en las áreas circundantes. Además, se deben establecer protocolos para inspecciones periódicas que permitan verificar el estado de las áreas de almacenamiento y la efectividad de las medidas implementadas.

El transporte de los lodos hacia el relleno sanitario municipal deberá realizarse exclusivamente por gestores autorizados, utilizando vehículos adecuados que cumplan con las normativas de seguridad y salubridad. Para evitar posibles riesgos o afectaciones adversas, se deben tomar medidas como el uso de contenedores herméticos, rutas de transporte planificadas para minimizar impactos en zonas habitadas y capacitación del personal en el manejo seguro de residuos. También será necesario establecer un sistema de registro que garantice la trazabilidad completa desde su generación hasta su disposición final.

Estas acciones tienen como objetivo garantizar una gestión segura y sostenible de los desechos, minimizando los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Durante el ínterin del proceso licitatorio del presente proyecto, la UMAPS construyó Retenes de Desarenación antes de obras de toma de agua y Cajas de Captación, lo que ocasiona una disminución significativa en la turbiedad del caudal del influente a la PTAP de El Picacho.
- ✓ En la actualidad y según la estadística del laboratorio de la PTAP El Picacho, la turbiedad del influente en épocas de alta intensidad pluvial oscila entre los 20 y 30 NTU y en estiaje alrededor de los 3 NTU, lo que incide un bajo consumo de Productos Químicos. Datos tomados del Anexo Resumen de las Calidades de Agua Cruda y Tratada, UMAPS, Año 2023.
- ✓ Se ha variado el concepto de aprovechamiento y optimización operativa de la eficiencia de la PTAP de El Picacho incluyendo la recirculación de las aguas de retro lavado de filtros (sugerido por esta Supervisión), aprovechando el uso racional del agua, disminuyendo su desperdicio, disminuyendo el consumo de productos químicos y aumentando la producción especialmente en épocas de estiaje, disminuyendo la demanda insatisfecha en esa época. Lo anterior disminuye también la producción de fangos de desecho y por ende disminuye los costos operativos de su tratamiento.
- ✓ Debido a las bajas turbiedades actuales del agua cruda del influente, se estima una producción de lodos anuales en un rango de 4 y 6 m³ por año (ver documento adjunto de Volumen de Lodos en los Decantadores). Esta cantidad incluye los lodos generados durante los procesos de decantación y filtración, y cuyas cifras disminuirán significativamente debido a la implementación de recirculación de flujos y optimización de floculadores y filtros con el Proyecto en curso, por lo que se espera que la producción máxima anuales de lodos sea menor a 5 m³.
- ✓ Actualmente los fangos producidos en la PTAP de El Picacho, dada su poca cantidad, son depositados en una estructura con un área aproximada de 115 m² (13m x 18m) y 1.55 m de altura, a la cual llegan descargas anuales, mediante operación de vació de cada una de las tolvas de los 4 decantadores en 2 días consecutivos, o sea a un caudal de 0.324 l/s en 8 días. Como se especificó, ya sea por acción de infiltración natural del fondo del depósito o por efectos de la evaporación al aire libre, se producen alrededor de 5 m³ de lodo seco, el cual es removido en forma manual y en el futuro serían evacuados con la retroexcavadora y el camión suministrada por el Proyecto actual al sitio autorizado por la Autoridad Competente.
- ✓ El componente ambiental del informe destaca una estrategia integral para mejorar la gestión de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de El Picacho. La implementación de medidas como la recirculación de las aguas y lodos del lavado de filtros y la optimización del uso de productos químicos ha permitido reducir significativamente el volumen de residuos generados, minimizando tanto los costos operativos como los impactos ambientales.
- ✓ Adicionalmente, se prioriza la seguridad ambiental mediante la disposición de los lodos en áreas asignadas con medidas adecuadas, la capacitación del personal encargado y el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales. Sin embargo, se enfatiza que el volumen reducido de lodos producido y las actuales mejoras

implementadas hacen innecesaria la construcción de nuevos sistemas de tratamiento, recomendándose en su lugar mejoras en la infraestructura existente para asegurar una disposición final adecuada. Estas acciones no solo refuerzan la sostenibilidad de las operaciones de la planta, sino que también contribuyen a la mitigación de riesgos ambientales, promoviendo prácticas responsables en el manejo de residuos.

- ✓ Esta Supervisión realizó en el mes de noviembre 2024 pruebas de muestras lodos húmedas como secas, y cuyos resultados (ver Anexo 6.2) muestran niveles de metales y sustancias tóxicas contaminantes (Arsénico, Mercurio, Plomo, Zinc, Cobre, Hierro, etc.) que se encuentran dentro de los límites naturales de las composiciones geológicas de los terrenos de las fuentes de agua abastecedoras, por lo tanto, no representan un alto grado de contaminación.
- ✓ La praxis y de acuerdo a datos bibliográficos, se ha demostrado de forma puntual, que dicho material contiene varios tipos de contaminación, sean esta de carácter inorgánico como orgánico, por lo que antes de su disposición final, se debe dar un tratamiento de espesamiento y desecación apropiado antes de su destino final, tal como se está realizando actualmente, siendo considerado ese Material de Mediano a Bajo Riesgo.
- ✓ La UMAPS será responsable de la capacitación continua y continuada del personal laborante en las instalaciones de la PTAP El Picacho, con mayor incidencia en el manejo y disposición final de los subproductos generados en la misma.
- ✓ La UMAPS deberá implementar un plan de monitoreo de la Calidad de los Lodos Generados en la PTAP de El Picacho, según las recomendaciones en cuanto a periodicidad y parámetros a analizar de los mismos, plasmados en el documento que la Supervisión del Proyecto presentará en el Informe Final del Proyecto como parte de las Recomendaciones Operativa de las Instalaciones Rehabilitadas con el Proyecto.



DICTAMEN

5. DICTAMEN SOBRE PRONUNCIAMIENTO UMAPS AL SISTEMA DE LODOS

Con base a lo anterior, y a la baja producción de fangos y cambios operativos futuros a implementarse cuando el Proyecto en ejecución sea concluido, esta Supervisión, con base a los TdR del Proyecto, acuerdos y lineamientos contractuales del Préstamo con el Organismo Financiero, **se pronuncia en la No Obligatoriedad** de dotar a las instalaciones operativas del Proyecto de un nuevo mecanismo tratamiento y disposición final de los fangos provenientes de los decantadores laminares de la planta potabilizadora de El Picacho, cuyas obras deben ser excluidas de las obligaciones salvo para mejorar las instalaciones existentes (caminos de acceso, cunetas, etc.), esto tomando en consideración la sugerencia de la UMAPS.

Hacemos hincapié de que los desechos depurados deberán ser evacuados para su disposición final en sitios seguros indicados por la Autoridad Competente y basados en el PGAS resultante del Proyecto como de los Manuales de Operación y Mantenimiento de la Planta revisados y aprobados por esta Supervisión.



ANEXOS

6. ANEXOS

6.1 Oficio SGAP-03-2025 REF. GESTIÓN DE LODOS

6.2 Resumen de las Calidades de Agua Cruda y Tratada, UMAPS, Año 2023

6.3 Resultados de Análisis Físico – Químico – Bacteriológico de Fangos Húmedos / Secos, Año 2024



UNIDAD MUNICIPAL DE AGUA
POTABLE Y SANEAMIENTO

SUB GERENCIA DE AGUA POTABLE

Tegucigalpa M.D.C. 10 de febrero del 2025

OFICIO SGAP-03-2025
REF: Gestión de Lodos

Ing. María Luisa Pardo
Directora UCP/AMDC

Reciba un Cordial saludo.

Con referencia a los cambios en el diseño original de la Gestión de Lodo de la PTAP Picacho, los mismos se justificaron por la escasa generación de lodos en los decantadores de la planta, debido a la calidad del agua cruda, que la mayor parte del año la turbiedad y color es baja, igualmente hay menos generación de lodos por efecto del retro lavado de los filtros, al haberse rehabilitado el sistema de reciclado de estas aguas al tren de tratamiento de la planta, y haber realizado mejoras en las obras de recarga de la zona de la tigre y pre filtros en las mismas.

Adicionalmente con la adquisición del equipo (Retro excavadora y Camión, asignado a la PTAPP) el volumen de lodos se transporta debidamente a los sitios de relleno ya establecidos por la AMDC.

Sin otro particular, atentamente

Ing. Francisco A. Zepeda
Sub Gerencia de Agua Potable UMAPS

Vo.Bo. Ing. Arturo Trochez Oviedo
Gerente General UMAPS

CC: Archivo



Anexo 6.2
Resumen de las Calidades de Agua Cruda y Tratada, UMAPS,
Año 2023

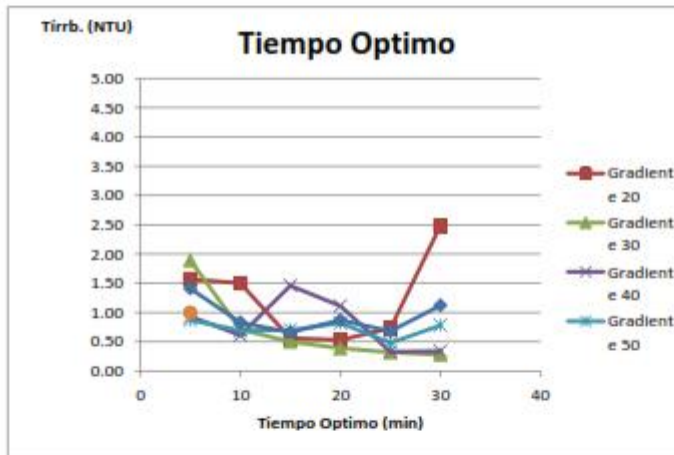


SANAA
SERVICIO AUTÓNOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
Control de Calidad - División Metropolitana

Resultados de Ensayos de Floculación Muestra #732

Prueba #6, #7, #8, #9, #10

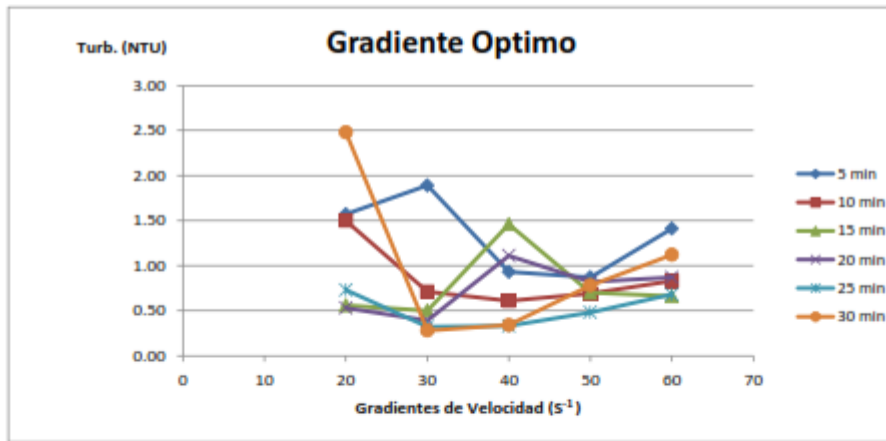
Tiempo min	Gradiente 20 22 RPM	Gradiente 30 30 RPM	Gradiente 40 37 RPM	Gradiente 50 44 RPM	Gradiente 60 44 RPM
5	1.57	1.89	0.93	0.87	1.41
10	1.50	0.71	0.61	0.69	0.83
15	0.56	0.50	1.46	0.70	0.66
20	0.53	0.39	1.11	0.82	0.87
25	0.73	0.32	0.33	0.48	0.68
30	2.48	0.28	0.34	0.78	1.12





SANA A
SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
Control de Calidad - Division Metropolitana

Gradientes de velocidad $G (s^{-1})$	Turbiedad Residual (NTU)					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
60	1.41	0.83	0.66	0.87	0.68	1.12
50	0.87	0.69	0.70	0.82	0.48	0.78
40	0.93	0.61	1.46	1.11	0.33	0.34
30	1.89	0.71	0.50	0.39	0.32	0.28
20	1.57	1.50	0.56	0.53	0.73	2.48



Gradientes de Velocidad Optima de Floculación

t (min)	5	10	15	20	25	30
G (s^{-1})	50	40	30	30	30	30

$R^2 = 0.689795918$



SANAA
SERVICIO AUTÓNOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
Control de Calidad - División Metropolitana
Parámetros para el Ensayo de Decantación

Tramo	Tiempo de Retención (min)		Gradiente de Velocidad (s-1)
	Parcial	Total	
1	10	10	49
2	10	20	36
3	10	30	32

Agua Cruda: Turb = 13,00 NTU
Color = 55,00 UC
pH = 5.13

Prueba #11

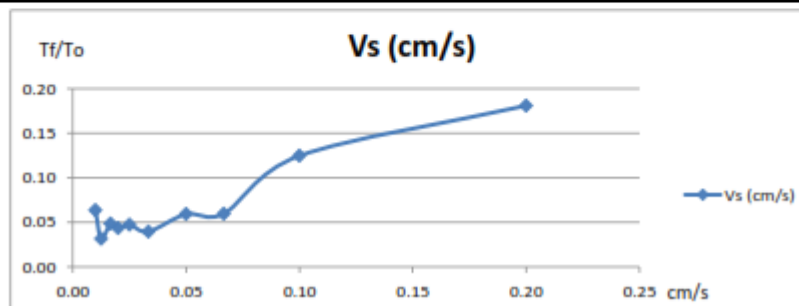
TMR = 60 seg 300 rpm
Floculación 10 min a G = 41(41rpm)
10 min a G = 30 (34rpm)
10min a G = 27 (31rpm)

#	1 30 seg	2 60 seg	3 90 seg	4 120 seg	5 180 seg	6 240 seg	7 300 seg	8 360 seg	9 480 seg	10 600 seg
1	2.30	1.09	0.74	0.98	0.57	0.61	0.77	0.74	0.39	1.00
2	2.39	2.15	0.81	0.56	0.46	0.62	0.36	0.52	0.43	0.65
Promedio	2.35	1.62	0.78	0.77	0.52	0.62	0.57	0.63	0.41	0.83

Resultados del Ensayo de Decantación

#	T (s)	Vs (cm/s)	Tf (NTU)	Co=Tf/To
1	30	0.20	2.35	0.18
2	60	0.10	1.62	0.12
3	90	0.07	0.78	0.06
4	120	0.05	0.77	0.06
5	180	0.03	0.52	0.04
6	240	0.03	0.62	0.05
7	300	0.02	0.57	0.04
8	360	0.02	0.63	0.05
9	480	0.01	0.41	0.03
10	600	0.01	0.83	0.06

13.00





SANA A
SERVICIO AUTÓNOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
Control de Calidad - División Metropolitana
Parámetros para el Ensayo de Decantación

Tramo	Tiempo de Retención (min)		Gradiente de Velocidad (s ⁻¹)
	Parcial	Total	
1	15	15	39
2	15	30	32

Agua Cruda: Turb = 13,00 NTU
Color = 55,00 UC
pH = 5.35

Prueba #12

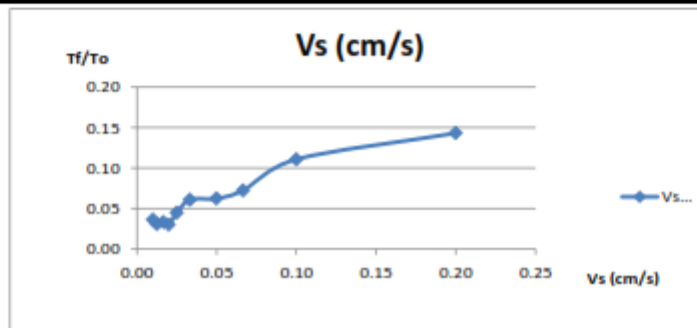
TMR = 60 seg 300 rpm
Floculación 15 min a G = 33(36rpm)
15 min a G = 27 (31rpm)

#	1 30 seg	2 60 seg	3 90 seg	4 120 seg	5 180 seg	6 240 seg	7 300 seg	8 360 seg	9 480 seg	10 600 seg
1	1.82	1.43	0.92	0.70	0.88	0.64	0.40	0.46	0.43	0.54
2	1.89	1.45	0.95	0.91	0.70	0.52	0.37	0.39	0.36	0.40
Promedio	1.86	1.44	0.94	0.81	0.79	0.58	0.39	0.43	0.40	0.47

Resultados del Ensayo de Decantación

#	T (s)	Vs (cm/s)	Tf (NTU)	Co=Tf/To
1	30	0.20	1.86	0.14
2	60	0.10	1.44	0.11
3	90	0.07	0.94	0.07
4	120	0.05	0.81	0.06
5	180	0.03	0.79	0.06
6	240	0.03	0.58	0.04
7	300	0.02	0.39	0.03
8	360	0.02	0.43	0.03
9	480	0.01	0.40	0.03
10	600	0.01	0.47	0.04

13.00



Anexo 6.3

**Resultados de Análisis Físico – Químico – Bacteriológico de
Fangos Húmedos / Secos, Año 2024**

INFORME DE ENSAYOS

Laboratorio de Análisis Industriales MQ

Teléfono: (504) 2221-0242 / 3352-5025

Correo electrónico: info@labmq.com / laboratoriomq@gmail.com

Colonia Matamoros frente al Centro Nacional del Diabético, Tegucigalpa Honduras.

Código: RT-26

Versión: Cuarta

Página 1 de 1

Correlativo: 29303



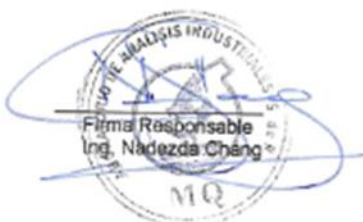
Ciente	CONASH	Tipo de muestra	Fangos Lodos
Contacto	Ronald Agüero	Punto de toma de muestra:	Fango laguna Planta de Tratamiento de Agua Potable El Picacho
Dirección	Tegucigalpa	Responsable de toma de muestra:	Robin García
Teléfono	9982-0581	Fecha de toma de muestra:	14 de noviembre de 2024
Fecha de recibo:	14 de noviembre del 2024	Hora de toma de muestra:	1:30 pm
Fecha de análisis	14-21 de noviembre del 2024	Entregada por:	Ing. Miguel Guzmán
Fecha de informe	21 de noviembre del 2024	Numero de muestras	1
Nº laboratorio:	112 655	Cantidad de muestra:	Aprox. 750 mL
Preservación:	Temperatura ambiente	Tipo de envase:	Bolsa estéril

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Humedad	78,7	%	ME 2540 B
Sólidos	21,3	%	ME 2540 B

-----Ultima línea-----

Observaciones: La coma se usa como punto decimal.

ME: Método de Ensayo Según el Text Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 24th Edition



El material bajo análisis se conservará en custodia por el Laboratorio 24 h después de entregado el presente informe para cualquier observación de su parte. Estos análisis, opiniones o interpretaciones están basados en material proporcionado por el cliente. Este documento es de uso exclusivo y confidencial del mismo. No se permite la reproducción parcial ni total de este informe.

INFORME DE ENSAYOS

Laboratorio de Análisis Industriales MQ

Teléfono: (504) 2221-0242 / 3362-5025

Correo electrónico: info@labmq.com / laboratoriomq@gmail.com

Colonia Matamoros frente al Centro Nacional del Diabético, Tegucigalpa Honduras.

Código: RT-26

Versión: Cuarta

Página 1 de 2

Correlativo: 29303



Cliete	CONASH	Tipo de muestra	Fangos Lodos
Contacto	Ronald Agüero	Punto de toma de muestra:	Fango laguna Planta de Tratamiento de Agua Potable El Picacho
Dirección:	Tegucigalpa	Responsable de toma de muestra:	Robin García
Teléfono:	9962-0561	Fecha de toma de muestra:	14 de noviembre de 2024
Fecha de recibo:	14 de noviembre del 2024	Hora de toma de muestra:	1:30 pm
Fecha de análisis	14-21 de noviembre del 2024	Entregada por:	Ing. Miguel Guzmán
Fecha de informe	21 de noviembre del 2024	Numero de muestras	1
Nº laboratorio:	112 655	Cantidad de muestra:	Aprox. 750 mL
Preservación:	Temperatura ambiente	Tipo de envase:	Bolsa estéril

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Aceites y grasas	235,2	mg/kg	ME 5520 D
Calcio	304,7	mg/kg Ca	ME 3500-Ca B
Cobre	< 0,58	mg/kg Cu	ME 8506
pH	6,50 (23,3 °C)	Unidades de pH	ME 4500 H B
Hierro total	9 123	mg/kg Fe _{tot}	ME 3500-Fe-B
Magnesio	99,8	mg/kg Mg	ME 3500-Mg B
Manganeso	17,1	mg/kg Mn	ME 3500-Mn B
Sulfatos	478,6	mg/kg SO ₄ ²⁻	ME 4500-SO ₄ ²⁻ -E
Sodio	18,4	mg/kg Na	ISE-Na
Arsénico	0,54	mg/kg As	ME 416/3
Mercurio	0,26	mg/kg Hg	ME 422/2
Plomo	1,45	mg/kg Pb	ME 241/2 E
Zinc	33,3	mg/kg Zn	ME 254/2 E
Coliformes totales	230	NMP/mL	ME 9221 B
Coliformes termotolerantes	230	NMP/mL	ME 9221 E

Ultima línea

Observaciones: La coma se usa como punto decimal.

No se realizaron los análisis de sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos y Sólidos totales ya que es una muestra sólida. pH se realizó a partir de una dilución 1/10.

ME: Método de Ensayo Según el Text Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 24th Edition

ME: Método de ensayo por voltamperometría/Metrohm (metales).

Firma Responsable
Ing. Nadezda Cheng

INFORME DE ENSAYOS

Laboratorio de Análisis Industriales MQ
 Teléfono: (504) 2221-0242 / 3362-5025
 Correo electrónico: info@labmq.com / laboratoriomq@gmail.com
 Colonia Matamoros frente al Centro Nacional del Diabético, Tegucigalpa Honduras.

Código: RT-26
 Versión: Cuarta
 Página 1 de 2
 Correlativo: 29303



Cliete	CONASH	Tipo de muestra	Fangos Lodos
Contacto	Ronald Agüero	Punto de toma de muestra:	Fango laguna Planta de Tratamiento de Agua Potable El Picacho
Dirección:	Tegucigalpa	Responsable de toma de muestra:	Robin García
Teléfono:	9962-0561	Fecha de toma de muestra:	14 de noviembre de 2024
Fecha de recibo:	14 de noviembre del 2024	Hora de toma de muestra:	1:30 pm
Fecha de análisis	14-21 de noviembre del 2024	Entregada por:	Ing. Miguel Guzmán
Fecha de informe	21 de noviembre del 2024	Numero de muestras	1
Nº laboratorio:	112 655	Cantidad de muestra:	Aprox. 750 mL
Preservación:	Temperatura ambiente	Tipo de envase:	Bolsa estéril

ANALISIS	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE ANALISIS
Aceites y grasas	235,2	mg/kg	ME 5520 D
Calcio	304,7	mg/kg Ca	ME 3500-Ca B
Cobre	< 0,58	mg/kg Cu	ME 8506
pH	6,50 (23,3 °C)	Unidades de pH	ME 4500 H B
Hierro total	9 123	mg/kg Fe _{tot}	ME 3500-Fe-B
Magnesio	99,8	mg/kg Mg	ME 3500-Mg B
Manganeso	17,1	mg/kg Mn	ME 3500-Mn B
Sulfatos	478,6	mg/kg SO ₄ ²⁻	ME 4500-SO ₄ ²⁻ -E
Sodio	18,4	mg/kg Na	ISE-Na
Arsénico	0,54	mg/kg As	ME 416/3
Mercurio	0,26	mg/kg Hg	ME 422/2
Plomo	1,45	mg/kg Pb	ME 241/2 E
Zinc	33,3	mg/kg Zn	ME 254/2 E
Coliformes totales	230	NMP/mL	ME 9221 B
Coliformes termotolerantes	230	NMP/mL	ME 9221 E

Ultima línea

Observaciones: La coma se usa como punto decimal.

No se realizaron los análisis de sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos y Sólidos totales ya que es una muestra sólida.
 pH se realizó a partir de una dilución 1/10.

ME: Método de Ensayo Según el Text Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 24th Edition

ME: Método de ensayo por voltamperometría/Metrohm (metales).

Firma Responsable
 Ing. Nadezda Cheng