

**USO DE LODOS ATRAVÉS DEL MANEJO DE TECNOLOGÍAS DE
RECUPERACIÓN CON INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA
TUPIZA- BOLIVIA**



ANGELICA MARIA SANCHEZ VARGAS

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2022**

**USO DE LODOS ATRAVÉS DEL MANEJO DE TECNOLOGÍAS DE
RECUPERACIÓN CON INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CUENCA
TUPIZA- BOLIVIA**

ANGELICA MARIA SANCHEZ VARGAS

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar al título de
Ingeniera Agropecuaria.**

Director:

I. Agrop. M. Sc. Gustavo Adolfo Alegría Fernández

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN.
2022**

Nota de aceptación

El director y los jurados han leído el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por su autora y lo encuentra satisfactorio.

**M. Sc. Gustavo Adolfo Alegría
Fernández
Director**

Presidente del jurado

Jurado

Popayán, 28 de febrero de 2022

DEDICATORIA

Le dedico a Dios esta etapa de mi vida, a mi familia que me ha apoyado y guiado en cada paso especialmente mis padres Darío Sánchez y Consuelo Vargas a mis hermanas que escuchan durante horas mis charlas sobre agricultura y me motivan a ser mejor, también le quiero dedicar esta bella etapa a un gran amigo Juan Diego por estar a mi lado desde el inicio y por ser una de las personas que me ha impulsado a investigar y a creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por darme la vida perseverancia y bondad.

A mis padres gracias por realizar diferentes sacrificios para formarme y por motivarme a ser mejor.

A mis hermanas les agradezco su apoyo incondicional.

A la familia Sánchez y Vargas por estar presente en cada etapa de mi vida.

A Stockholm Environment Institute (SEI) por brindarme la oportunidad de investigar aprender y desarrollar mis capacidades en el proyecto Bolivia WATCH.

Le agradezco a los investigadores: Hector Angarita, Kim Andersson, Nilo Lima, Jairo Mosquera, Angelica Moncada, Cecilia Tapia por compartir su tiempo y conocimiento como también por creer en mis ideas y brindarme diferentes espacios de aprendizaje.

Les agradezco por su tiempo y colaboración a las personas de Tupiza a quienes entreviste, a la consultora ARMIJO C&C, al profesor Camilo Vera.

Al profesor Gustavo Alegría por ser mi mentor por creer en mí desde el inicio cuando presente la primera ponencia hasta mi experiencia en SEI.

Al profesor Carlos Quintín gracias por motivarme como estudiante a buscar otros espacios de aprendizaje.

A mi gran amigo Juan Diego gracias por su ayuda, por ser esa persona que me enseñó a disfrutar de la investigación, gracias por no dejarme decaer cuando creía que no era capaz.

A Nicolás gracias por ayudarme, hacer parte de mi vida y compartir cada momento.

Gracias a mis amigos por escucharme y darme consejos para seguir en este caminar.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO REFERENCIAL	19
1.1. LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	19
1.2. MARCO INSTITUCIONAL Y LEGAL, RELACIONADO CON EL USO LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) EN BOLIVIA	19
1.2.1. Síntesis de normativa sobre el uso de lodos en otros países	22
1.2.2 Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en el lodo	28
1.3. PROPUESTA NORMATIVA PARA EL REÚSO DE LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
1.4. MAPEO DEL VALOR DE LOS RECURSOS – REVAMP	30
1.5. INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP	31
1.6. ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE LOS LODOS DE PTAR EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	32
1.7. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACTUAL DE TUPIZA	35
1.7.1 Planes de ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales actual de Tupiza	36
2. METODOLOGIA	37

2.1 LOCALIZACIÓN	37
2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.	38
2.3 FASE 1: ESTADO DEL ARTE Y MARCO NORMATIVO APLICABLE AL USO DE LODOS EN BOLIVIA.	39
2.3.1. Actividad 1: Recolección de la información	39
2.3.2. Actividad 2: Análisis documental	39
2.3.3. Actividad 3: Propuesta de marco normativo	39
2.3.4. Actividad 4: Socialización de marco normativo a actores relevantes	39
2.4 FASE 2: ANALISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL CENSO AGROPECUARIO	40
2.4.1. Actividad 1: Análisis del Censo Agropecuario 2013	40
2.4.2. Actividad 2: Análisis de encuesta Socioeconómica Tupiza año 2020	40
2.4.4. Actividad 4: análisis de entrevistas	41
2.4.5. Actividad 5. Caracterización del sistema agrícola	41
2.5 FASE 3: CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR DE TUPIZA	41
2.5.1. Actividad 1: Revisión de la caracterización de agua y lodos realizada por Armijo C&C	41
2.5.2. Actividad 2: Caracterización de agua y lodos	41
2.5.3. Actividad 3: Revisión del informe entregado por el laboratorio ENVIROLAB S.R.L	43
2.6 FASE 4: MODELACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE RECURSOS EN LA PTAR TUPIZA, USANDO LA INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP	43

2.6.1. Actividad 1: Introducción de parámetros de calidad de agua y lodos en WEAP + REVAMP	43
2.6.2. Actividad 2: Resultados WEAP + REVAMP	44
2.7. FASE 5: ESTABLECIMIENTO DE POSIBLES USO DE LODOS EN UN SISTEMA DE PRODUCCION AGRICOLA	45
2.7.1. Actividad 1	45
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1. USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA TUPIZA	46
3.1.2. Comunidades con terrenos en pasturas para ganadería	47
3.1.3. Comunidades con terrenos en agricultura	48
3.1.4. Comunidades con terrenos en floricultura	52
3.1.5. Comunidades con terrenos destinados al cultivo de frutales	53
3.2 USO DE ABONOS Y FERTILIZANTES	54
3.3. MODELACIÓN EN WEAP + REVAMP DE LA CANTIDAD DE LODOS ENTRE EL 2025 Y 2051	55
3.3.1. Modelación en WEAP + REVAMP de la cantidad de nutrientes presentes el lodo	56
3.3.2. Cantidad de compost	56
3.3.3. Modelación en WEAP + REVAMP de la cantidad de nutrientes presentes el compost	57
3.4. USO DE LODOS PARA ABONAR PASTURAS EN GANADERÍA	57
3.4.1. Uso de lodos para abonar cultivos	58

3.4.2. Uso de lodos para abonar suelos destinados a la floricultura	58
3.4.3. Uso lodos como insumo para elaboración de compostaje	58
4. CONCLUSIONES	60
5. RECOMENDACIONES	61
6. BIBLIOGRAFIA	62
ANEXOS	67

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Normatividad Boliviana uso de lodos	21
Tabla 2. Definiciones lodo	23
Tabla 3. Definición de lodo de depuración	24
Tabla 4. Definición de biosólidos	25
Tabla 5. Valores límite de concentración de metales pesados en los lodos, biosólidos	25
Tabla 6. Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos según la norma Colombia 1287 del 2014.	28
Tabla 7. Precio de productos usados en la producción agrícola en la cuenca Tupiza	54
Tabla 8. Resultados de cantidad de lodos en REVAMP	56
Tabla 9. Resultados de cantidad de compost en REVAMP	57

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Tupiza	35
Figura 2. Configuración de la nueva PTAR en Tupiza	36
Figura 3. Localización del municipio de la nueva PTAR en el municipio de Tupiza	37
Figura 4. Ingreso a la PTAR	42
Figura 5. Laguna facultativa cuadrante Oeste y Sur	42
Figura 6. Parámetros en WEAP – REVAMP de Calidad de agua y lodos	43
Figura 7. Resultados REVAMP-Tupiza	44
Figura 8. Uso de la tierra en la cuenca Tupiza, expresado en porcentaje.	46
Figura 9. Uso del terreno en pasturas para ganadería por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m ²	47
Figura 10. Comunidades con terrenos en Agricultura	48
Figura 11. Respuesta a la pregunta los hogares consideraban si es importante la actividad agrícola para la economía/subsistencia del hogar, expresado en porcentaje.	49
Figura 12. Área de cultivos por comunidades año 2013	50
Figura 13. Área sembrada en m ² de los cultivos por comunidades para el año 2020 según la encuesta Socioeconómica	51
Figura 14. Uso del terreno en floricultura por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m ²	52
Figura 15. Uso del terreno en frutales por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m ²	53

Figura 16. Resultados de la modelación en WEAP+REVAMP de la producción de lodos en la PTAR Tupiza 55

Figura 17. Resultados obtenidos en REVAMP de cantidad de compost 56

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Acta de socialización	67
Anexo B. Lista de comunidades presentes en la cuenca	70
Anexo C. Guía de entrevista para la caracterización de sistemas de producción agrícola en Tupiza	71
Anexo D. Informe entregado por ENVIROLAB S.R.L sobre la caracterización de agua y lodos	71

RESUMEN

En Bolivia la actual cadena de servicios de saneamiento incluye la generación, recolección, tratamiento y eliminación de las aguas residuales (Helvetas & Navarro 2020). Del tratamiento de aguas residuales se generan lodos que se cementan en las tecnologías de tratamiento o van a botaderos de basura. En relación con lo anterior, la presente investigación pretendió describir los posibles usos que se le pueden dar a los lodos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en un sistema de producción agrícola, a través del análisis de datos generados por la interoperabilidad de WEAP y REVAMP con el fin de ayudar a la gestión y planificación de la cuenca Tupiza en Bolivia, la investigación se llevó a cabo dentro del programa Bolivia WATCH, un programa liderado por el Stockholm Environment Institute (SEI) y financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA).

En este trabajo se implementó la investigación mixta donde se colectó, se analizó y se mezcló los métodos de investigación cualitativa y cuantitativa por medio de cinco fases, donde se realizó un estado del arte y marco normativo aplicable al uso de lodos en Bolivia, una caracterización del sistema de producción agrícola, una modelación en WEAP + REVAMP para determinar la cantidad promedio de lodos y compost entre el 2025 y 2051, así mismo la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en este, para llegar a los usos que se le pueden dar a los lodos en un sistema de producción agrícola.

En los resultados se llegó a que la cantidad promedio de lodos es 257 t/año, este es un valor considerable que podría ser aprovechado en la producción agrícola ya que la modelación arrojó que este contendría un 45,4% de nitrógeno. 31, 2% de potasio y 4,9% de fósforo lo que indica que este producto tiene un potencial en la producción agrícola que podría ser usado para fertilizar cultivos, pasturas en ganadería, para abonar suelos con cultivo de flores y como insumo para compostaje.

Palabras claves: Agropecuaria, alternativa de reúso, compostaje, nitrógeno, fósforo y potasio.

ABSTRACT

In Bolivia, the current sanitation service chain includes the generation, collection, treatment and disposal of wastewater (Helvetas & Navarro 2020). Wastewater treatment generates sludge that is either cemented in the treatment technologies or goes to landfills. In relation to the above, the present research aimed to describe the possible uses that can be given to the sludge obtained from the Wastewater Treatment Plant, in an agricultural production system, through the analysis of data generated by the interoperability of WEAP and REVAMP in order to help the management and planning of the Tupiza watershed in Bolivia, the research was carried out within the Bolivia WATCH program, a program led by the Stockholm Environment Institute (SEI) and funded by the Swedish International Development Agency (SIDA).

In this work, a mixed research was implemented where qualitative and quantitative research methods were collected, analyzed and mixed through five phases, where a state of the art and regulatory framework applicable to the use of sludge in Bolivia was carried out, a characterization of the agricultural production system, a modeling in WEAP + REVAMP to determine the average amount of sludge and compost between 2025 and 2051, as well as the amount of nitrogen, phosphorus and potassium in it, to arrive at the uses that can be given to sludge in an agricultural production system.

The results showed that the average amount of sludge is 257 t/year, which is a considerable value that could be used in agricultural production, since the modeling showed that it would contain 45.4% nitrogen, 31.2% potassium and 31.2% potassium. 31.2% potassium and 4.9% phosphorus, which indicates that this product has a potential in agricultural production that could be used to fertilize crops, pastures in livestock, to fertilize soils with flower crops and as an input for composting.

Key words: Agriculture, reuse alternative, compost, nitrogen, phosphorus and potassium.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación denominado “Uso de lodos a través del manejo de tecnologías de recuperación con interoperabilidad de WEAP Y REVAMP en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la cuenca Tupiza- Bolivia”, se desarrolló en el marco del programa Bolivia WATCH, liderado por el Stockholm Environment Institute (SEI) y financiado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA), cuyo propósito es promover soluciones innovadoras de agua, saneamiento e higiene (WASH) y la implementación del Plan Nacional de Cuencas Hidrográficas de Bolivia.

En Tupiza las aguas residuales generalmente consisten en aguas domésticas mixtas, es decir, aguas generadas por baños, duchas, lavaderos y cocinas, las cuales se mezclan comúnmente con el agua de drenaje de los pequeños negocios y restaurantes (Navarro, 2020), estas se transportan a través de una red de tuberías de aguas residuales a la planta local de tratamiento de aguas residuales localizada 4,5 kilómetros al sur del centro de la ciudad (Helvetas, 2020). Del tratamiento de aguas residuales se generan lodos que van comúnmente a pozos sépticos o se cementan en los lechos de secado (Helvetas, 2020).

Los lodos presentan una variedad de compuestos: materia, orgánica, nutrientes, metales pesados y presencia de organismos patógenos, situación que en la mayoría de los casos dificulta su aprovechamiento y disposición final (Arias & Restrepo, 2018). En Bolivia no hay normativa específica emitida por los Gobiernos Municipales para la disposición adecuada de lodos tratados, los mismos que se encuentran dispuestos en áreas de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales (PTAR). De ahí que, en la mayoría de los casos el manejo se limite a retiro, extracción y secado en intemperie (Banco Mundial, 2017).

En consecuencia, la falta de parámetros estándar normados es uno de los factores para que las inversiones en tratamiento no consideren el reúso y apunten más bien a la disposición final (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2019). La reutilización de los lodos tratados, después de las etapas de desinfección, secado y compostaje, obtenidos bajo responsabilidad pueden ser valorizados por medio de la comercialización. (Susana Latinoamericana,

2020), permitiendo que un residuo se transforme en un recurso, al no disponer de alternativas de reúso pone en peligro la valorización de un recurso que bien gestionado puede ser muy valioso para la agricultura (Chamorro, 2016).

En específico el objetivo de este trabajo fue describir los posibles usos que se le pueden dar a los lodos obtenidos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en un sistema de producción agrícola, a través del análisis de datos generados por la interoperabilidad de WEAP y REVAMP con el fin de ayudar a la gestión y planificación de la cuenca Tupiza., mediante la consolidación de un estado del arte y marco normativo aplicable al uso de lodos en Bolivia, el análisis de la información obtenida del Censo Agropecuario, encuestas, entrevistas a los productores para caracterizar los sistemas de producción agrícola y la demanda de lodos como posible insumo para compostaje., y la determinación de las características químicas de los lodos obtenidos de la PTAR de Tupiza usando como apoyo las herramientas WEAP Y REVAMP para establecer los posibles usos de lodos en sistema de producción agrícola.

Para lograr dicho objetivo se implementó la investigación mixta en el sentido que usaron datos cuantitativos y cualitativos por medio de cinco fases, así: Fase 1: Estado del arte y marco normativo aplicable al uso de lodos en Bolivia. Fase 2: Aplicación de entrevistas a productores de Tupiza y análisis de la información obtenida del censo agropecuario, encuestas, entrevistas a los productores para caracterizar los sistemas de producción agrícola y la demanda de lodos como posible insumo para compostaje. Fase 3: Caracterización de calidad de agua y lodos provenientes de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales de Tupiza. Fase 4: Modelación de la recuperación de recursos en la nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza, usando la interoperabilidad de WEAP Y REVAMP. Fase 5: Establecimiento de los posibles usos de lodos en sistema de producción agrícola en Tupiza.

En la que se llegó a determinar que para los años 2025 y 2051 en la nueva Planta de tratamiento Aguas Residuales la cantidad promedio de lodos seria 257,011 t/año es un valor considerable que podría ser aprovechado en la producción agrícola ya que contendría un 45,4% de nitrógeno. 31, 2% de potasio y 4,9%de fósforo lo que indica que este producto tiene un potencial para abonar cultivos, pasturas en ganadería, suelos con cultivo de flores y como insumo para compostaje, generando

una alternativa de reúso para así no ser dispuesto en un botadero a cielo abierto o se acumule en el sistema de tratamiento.

Esta investigación es un referente para próximas investigaciones en Bolivia donde se considera al lodo una alternativa de uso en la producción agrícola, es necesario realizar parcelas demostrativas donde se realice una evaluación agronómica de cultivos de ciclo corto y largo con lodos y lodos compostado, también deja en evidencia la falta de normativa que se debe establecer para su uso, por último, validar la interoperabilidad de WEAP + REVAMP para la recuperación de nutrientes dejando claro que sería ideal que se incorpore en REVAMP la remoción de metales y coliformes para que se pueda hacer un análisis más completo.

1. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se señala el concepto referente a lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el marco institucional y legal, relacionado con el uso lodos de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Bolivia, las Categorías y restricciones para el uso, límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en el lodo, Mapeo del Valor de los Recursos REVAMP, Sistema de evaluación y planificación del agua WEAP, Interoperabilidad de WEAP Y REVAMP.

1.1. LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Son el material de desecho que contienen compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas residuales (Cupe y Juscamaita, 2018). Estos lodos pueden contener gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua, las características y propiedades de estos lodos están estrechamente vinculadas al proceso empleado en las PTAR (Amador et al.,2015).

La caracterización de los lodos es la clave para cuantificar las concentraciones de nutrientes para su aplicación en los suelos y de los compuestos dañinos que deben ser eliminados. Para el adecuado manejo de lodos se debe evaluar la composición química (incluida la concentración de metales pesados), así como el contenido de patógenos y parásitos que posean (Amador et al.,2015).

1.2. MARCO INSTITUCIONAL Y LEGAL, RELACIONADO CON EL USO LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) EN BOLIVIA

Bajo la Ley de Medio Ambiente No. 1333 de 1992, se encuentran los siguientes Reglamentos: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), en materia de Contaminación Atmosférica (RMCA), para Actividades con Sustancias Peligrosas (RASP), para la Prevención y Control Ambiental (RPCA), reglamento

General de Gestión Ambiental (RGGA) y de Gestión de Residuos Sólidos, este reglamento ha sido reemplazado por la Ley 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el año 2015 (Stockholm Environment Institute *et al.*, 2020).

La Ley 755 estableció en el reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, al artículo 5, que la gestión de los residuos sólidos: agrícolas, ganaderos, forestales, mineros, metalúrgicos, y también los específicamente designables como residuos sólidos peligrosos, los residuos en forma de lodos, así como todos los que no sean asimilables a los residuos especificados en el primer párrafo del artículo precedente, estarán sujetos a reglamentación específica, elaborada por el Organismo Sectorial Competente en coordinación con el MDSMA, en el plazo de 180 días a partir de la puesta en vigencia del presente Reglamento. Además, los Gobiernos Municipales elaborarán, en coordinación con el MDSMA, en el plazo previsto, la reglamentación sobre escombros, restos de mataderos y lodos. Asimismo, en el artículo 9 se establece que los lodos son residuos semi-sólidos generados en las fosas sépticas de viviendas, centros comerciales, oficinas o industrias y los producidos en las depuradoras comunales, industriales y comerciales de aguas, así como en las unidades de control de emanaciones atmosféricas. Finalmente, en el artículo 13, literal h, establece que las atribuciones y competencias en materia de gestión de residuos sólidos y su relación con el medio ambiente, deberán elaborar reglamentos específicos para el manejo de residuos especiales, sólidos acumulados en cauces de ríos, lodos, restos de mataderos, residuos inertes y escombros, así como para los especificados en el segundo párrafo del artículo 4º del presente Reglamento (Stockholm Environment Institute *et al.*, 2020).

Tras este recorrido, se hace visible que los artículos a los que anteriormente se hace referencia, no se mencionan en la Ley 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el año 2015, con la que reemplaza el Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos. Por lo tanto, dicha Ley no menciona en específico a los lodos. En la Tabla 1 se puede observar con mayor detalle la normatividad vigente en el estado plurinacional de Bolivia, evidenciando que no hay normativa específica para el uso de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1. Normatividad Boliviana uso de lodos

Ley o reglamento	Artículo	Descripción
Reglamento en Materia de contaminación hídrica	3º	Fangos o lodos: Parte sólida que se produce, decanta o sedimenta durante el tratamiento de aguas.
	29º	Las tasas y tarifas por descarga de las aguas residuales crudas o tratadas a los colectores serán calculadas por los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado y las administraciones de parques industriales, en relación con el volumen de agua, la DBO5 y los sólidos suspendidos totales, tomando en cuenta las siguientes condiciones: a) las aguas residuales tienen, como promedio, una DBO5 de 250 mg/l y los sólidos suspendidos totales una concentración de 200 mg/l. Las descargas de agua residual con concentraciones mayores a estas cifras, estarán sujetas a una tarifa adicional en relación a las cargas en toneladas por mes, tanto de DBO5 como de sólidos suspendidos totales. Dichas tarifas serán calculadas por los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado correspondientes; b) teniendo en cuenta que ciertos metales pueden degradar los fangos o lodos haciéndolos no aptos para el uso agrícola, los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado y las administraciones de parques industriales podrán imponer tasas adicionales o limitar las descargas de los siguientes elementos: arsénico, cadmio, cromo +6 y cromo +3, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc. Las condiciones indicadas en los incisos precedentes, serán definidas en los procedimientos administrativos de los Servicios de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado o las administraciones de parques industriales, y estipuladas en los contratos con las empresas.

Tabla 1. (Continuación).

Reglamento Social de Desarrollo Comunitario - DESCOM	Descripción de Procesos y Subprocesos 89	Recomienda que la “Disposición de lodos y en su caso, uso de los mismos.”, estará a cargo de Gestión Técnica de Saneamiento de la EPSA independientemente de su tamaño.
Ley 755 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos		Define Residuo Sólido: Materiales en estado sólido o semisólido de características no peligrosas, especiales o peligrosas, generados en procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuyo generador o poseedor decide o requiere deshacerse de estos, y pueden ser susceptible de aprovechamiento o requieren sujetarse a procesos de tratamiento o disposición final.
Ley 755 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.	2º	Residuos reciclables: Comprende todos los residuos que pueden ser empleados como insumo o materia prima en procesos productivos y compostaje
	4º	El generador de residuos debe cubrir los costos que correspondan en la gestión operativa de los residuos, tomando en cuenta la jerarquización establecida.

Fuente: Este estudio, 2022, con información del Reglamento en Materia de contaminación hídrica, Reglamento Social de Desarrollo Comunitario – DESCOM y Ley 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos

1.2.1. Síntesis de normativa sobre el uso de lodos en otros países. A continuación, se presenta una síntesis de lo que ha sido normado sobre el uso de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En la Tabla 2, 3, 4 se presentan algunas definiciones de lodo, lodo de depuradora, biosólidos, con el fin de entender los términos usados.

El término de lodos es usado en Bolivia, Colombia y en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas (Tabla 2), el lodo que se contempla es el lodo salido del

tratamiento de aguas residuales domésticas a diferencia de Bolivia donde el lodo sale del tratamiento de agua potable y agua residual. En la normativa de Colombia si se menciona a los lodos como el resultado del tratamiento del agua residual, pero la normativa considera al uso de biosólidos que es el lodo estabilizado. En la normativa española el término lodos no se utiliza de manera general si no especifica en el área de saneamiento contemplando el término lodos de depuradora.

Tabla 2. Definiciones lodo

Termino	Lodos
Bolivia ⁽¹⁾	• Parte sólida que se produce, decanta o sedimenta durante el tratamiento de aguas. • Son lodos generados por decantación de los sólidos suspendidos y sedimentables del agua residual doméstica; estos se extraen de soluciones in situ como tanques sépticos, pozos ciegos y letrinas. • También existen estos lodos en pequeñas plantas de tratamiento de condominios que depuran aguas residenciales y comerciales
Diario Oficial de las Comunidades Europeas ⁽²⁾	• Son los lodos residuales salidos de estaciones de depuración que traten aguas residuales domésticas o urbanas y de otras estaciones de depuración que traten aguas residuales de composición similar a la de las aguas residuales domésticas y urbanas. • También son lodos residuales de fosas sépticas y de otras instalaciones similares para el tratamiento de aguas residuales.
España ⁽³⁾	Se contempla de manera específica los lodos de depuradora.
Colombia ⁽⁴⁾	Es el resultado del tratamiento de aguas residuales municipales donde se combinan una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico como tratamientos primarios y secundarios. Estos lodos deben ser estabilizados para reducir la carga contaminante para llegar a ser “biosólidos”. La normativa colombiana está sujeta al uso de los biosólidos.

Nota: ⁽¹⁾ Ley 1333 del medio ambiente promulgada el 27 de abril de 1992, vigente, Gobierno autónomo municipal de Cochabamba *et al.*, 2017. ⁽²⁾ Directiva del Consejo, 12 de junio de 1986, ⁽³⁾ Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, ⁽⁴⁾ Decreto 1287 del 2014.

Fuente: Este estudio, 2022

En la Tabla 3 se evidencia que el termino lodos de depuración se maneja en la normativa Diario de Comunidades Europeas y en España donde se refieren al lodo salido del tratamiento de aguas residuales domesticas a diferencia de la normativa de Bolivia y Colombia que manejan este término.

Tabla 3. Definición de lodo de depuración

Termino	Lodos de depuradora
Bolivia ⁽¹⁾	No contemplan ese término de manera específica dentro de la normativa, utilizan el término de lodos.
Diario Oficial de las Comunidades Europeas ⁽²⁾	Se refiere al lodo salido del tratamiento de aguas residuales domésticas
España ⁽³⁾	Los lodos residuales salidos de todo tipo de estaciones depuradoras de aguas residuales domésticas, urbanas o de aguas residuales de composición similar, así como los procedentes de fosas sépticas y de otras instalaciones de depuración similares utilizadas para el tratamiento de aguas residuales.
Colombia ⁽⁴⁾	Utilizan el término de lodos y bisólidos.

Nota: ⁽¹⁾ Ley 1333 del medio ambiente promulgada el 27 de abril de 1992, vigente. Gobierno autónomo municipal de Cochabamba. ⁽²⁾ Directiva del Consejo, 12 de junio de 1986. ⁽³⁾ Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre. ⁽⁴⁾ Decreto 1287 del 2014.

Fuente: Este estudio, 2022

En la Tabla 4 se evidencia que, en la normativa de Bolivia, España y en el Diario de las Comunidades Europeas no se contempla al termino biosólido, en cambio en la normativa de Colombia va dirigida al uso de estos que es el producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

Tabla 4. Definición de biosólidos

Termino	Biosólidos
Bolivia (1)	No contemplan ese término dentro de la normativa.
Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2)	No contemplan ese término dentro de la normativa.
España (3)	No contemplan ese término dentro de la normativa.
Colombia (4)	Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

Nota: ⁽¹⁾ Ley Boliviana 1333 del medio ambiente promulgada el 27 de abril de 1992, vigente Gobierno autónomo municipal de Cochabamba, ⁽²⁾ Directiva del Consejo, 12 de junio de 1986 del Diario Oficial de las Comunidades Europeas ⁽³⁾ Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre de España ⁽⁴⁾ Decreto 1287 del 2014 de Colombia.

Fuente: Este estudio, 2022

En la tabla 5 se hace una comparación sobre las normativas mencionadas con anterioridad, para ello se tomaron en cuenta algunos lineamientos en la utilización de lodos, como son: los valores límite de concentración de metales pesados en los lodos, biosólidos destinados a su utilización.

Tabla 5. Valores límite de concentración de metales pesados en los lodos, biosólidos

		Bolivia ⁽¹⁾	Diario Oficial de las Comunidades Europeas ⁽²⁾	España ⁽³⁾		Colombia ⁽⁴⁾	
Variable	Unidad de medida	Máximo permisible en lodos	Máximos permisibles en lodos destinados a su utilización en agricultura.	Máximos permisibles en los lodos destinados a su utilización agraria.		Categoría Biosólidos valores Máximos Permisibles.	
				pH < 7	pH > 7	A	B

Tabla 5. (Continuación)

Cadmio	mg/kg de Materia seca	No hay normativa	20 a 40	20	40	8	40
Cobre			1 000 a 1 750	1 000	1 750	1 000	1750
Níquel			300 a 400	300	400	80	420
Plomo			750 al 1 200	750	1 200	300	400
Zinc			2 500 a 4 000	2 500	4 000	2 000	2 800
Mercurio			16 a 25	16	25	10	20
Cromo			No fijaron los valores limite	1 000	1 500	1 000	1 500
Arsénico				No fijaron los valores limite		20	40
Molibdeno						18	75
Selenio						36	100

Nota: (1) Ley 1333 del medio ambiente promulgada el 27 de abril de 1992, vigente, Gobierno autónomo municipal de Cochabamba, (2) Directiva del Consejo, 12 de junio de 1986, (3) Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, (4) Decreto Colombiano 1287 del 2014.

Fuente: Este estudio, 2022

Como se evidencia en la Tabla 5, en Bolivia no se cuenta con normatividad específica del contenido de metales pesados que debe tener el lodo para su uso. Por su parte España instaure los valores permisibles de metales pesados en los lodos, guiándose por la directriz del Diario Oficial de las comunidades Europeas, con la diferencia que se establece el pH del suelo al que va aplicar. Por el contrario, en la normativa colombiana no se tiene en cuenta las clasificaciones de lodos si no de biosólidos considerando diferentes categorías para su uso. Siendo los valores de la normativa colombiana más estrictos respecto al contenido de metales pesados en biosólidos y contemplando el valor máximo permisible de arsénico, molibdeno y selenio que no son consideradas en las dos normativas ya mencionadas. En síntesis, la norma oficial colombiana, establece alternativas de uso como restricciones según la categoría de los biosólidos. A continuación, se presenta las categorías ya mencionadas según el decreto 1287 del 2014 de Colombia

Categoría A

- a. En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.
- b. Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- c. En agricultura.
- d. Los mismos usos de la Categoría B.

Categoría B

- a. En agricultura, se aplicará al suelo.
- b. En plantaciones forestales.
- c. En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- d. Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA.
- e. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración absorción y adsorción.
- f. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- g. En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.
- h. En la operación de rellenos sanitarios tomo: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- i. Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.
- j. En procesos de valorización energética.

1.2.2. Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en el lodo. En España, a pesar de que sí existe legislación sobre los valores máximos permisibles de microorganismos patógenos o indicadores en productos fertilizantes, agrupada en el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes, se excluye específicamente a los lodos de depuradora y no existe una legislación que indique valores máximos admitidos de microorganismos patógenos en ellos (Nadal *et al.*, 2017). Por su parte, el Diario de las Comunidades Europeas tampoco se considera el máximo permisible de patógenos y parásitos en los lodos. Sin embargo, en el decreto 1287 del 2014 de Colombia si se consideran parámetros microbiológicos como: Coliformes fecales, huevos helmintos viables, *Salmonella* sp y virus entéricos, ver Tabla 6.

Tabla 6. Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos según la norma Colombia 1287 del 2014.

Criterio	Variable	Unidad de medida	Categoría de lodos residuales Valores máximos permisibles	
			A	B
Microbiológicos	Coliformes Fecales	Unidades Formadoras de UFC/g	<1,00 E (+3)	<2,00 E (+6)

Tabla 6. (Continuación)

Microbiológicos	Huevos de Helminthos Viabiles	Huevos de Helminthos Viabiles / 4 g de biosólido (base seca)	<1,0	<10,0
	<i>Salmonella</i> sp.	Unidades Formadoras de Colonias - UFC / en 25 g de biosólido (base seca)	Ausencia	<1,00 E (+ 3)
	Virus Entéricos	Unidades formadoras de placas - UFP / 4 g de biosólido (base seca)	<1,0	

Fuente: Norma Colombiana 1287 del 2014

1.3. PROPUESTA NORMATIVA PARA EL REÚSO DE LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tras el análisis de la normatividad existente para el uso de lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales, se evidencia que existe un avance interesante en materia de regulación en la Unión Europea concretamente en España Real Decreto 1310/1990, país donde se han concretado las directrices de la Unión Europea, mientras que en Latinoamérica Colombia cuenta con el decreto 1287 del 2014 por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

En razón de lo ya mencionado, conveniente retomar algunos de los elementos más importantes de esas regulaciones para hacer una propuesta normativa que contenga los siguientes aspectos:

- a) Definición de lodo residual
- b) Límite de concentración de metales pesados en los suelos en lo que aplicara el lodo residual
- c) Tipos de lodos de PTAR teniendo en cuenta los valores máximos permisibles de químicos metales y microbiológicos para su uso según la normativa colombiana, decreto 1287 del 2014
- d) Restricciones según categorías para de reúso de lodos tomando como referencia el decreto 1287 del 2014 de Colombia.

1.4. MAPEO DEL VALOR DE LOS RECURSOS – REVAMP

Mapeo del Valor de los Recursos o Resource Value Mapping (REVAMP) es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para estimar rápidamente el potencial de recuperación de recursos de lodos fecales, lodos de aguas residuales y otros desechos sólidos orgánicos además esta herramienta caracteriza los diferentes tipos de desechos y las cantidades potenciales de recursos recuperables, REVAMP ayuda a los planificadores de la ciudad a estimar los recursos totales y el potencial de reutilización disponibles en las aguas residuales de una ciudad y otras corrientes de desechos orgánicos, así como sus valores financieros (Ddiba *et al.*, 2016).

REVAMP calcula los beneficios de diferentes escenarios de reutilización, por ejemplo, compostaje de lodos fecales para fertilizantes agrícolas; producción de biogás o briquetas de desechos sólidos, en términos de contenido de energía y nutrientes, qué cantidad de productos competidores podrían sustituir y cuánto costarían esos productos. De esta manera, REVAMP puede ser útil como paso para construir un caso de negocio para diferentes opciones de reutilización ó gestión de residuos, así como para informar ejercicios de planificación basados en escenarios. Esta herramienta se está desarrollando en el instituto de ambiente de Estocolmo para estimar, visualizar y valorar rápidamente los recursos que podrían recuperarse de los flujos de desechos orgánicos de una ciudad: lodos de depuradora, lodos fecales y alimentos y otros desechos sólidos orgánicos. (Ddiba *et al.*, 2018).

Para usar REVAMP, los usuarios ingresan tres tipos de datos: las cantidades disponibles de desechos orgánicos generados en su ciudad, datos de calidad de desechos y datos sobre los precios de los productos de recuperación de recursos.

Se proporciona una lista detallada de estos requisitos de datos en la información complementaria (SI), Además, REVAMP contiene datos predeterminados sobre la transformación de residuos en los procesos de tratamiento y recuperación de recursos. Estos datos se pueden cambiar en caso de que un usuario tenga más datos específicos del contexto. Los datos predeterminados se incluyen en el SI. (Ddiba *et al.*, 2018)

WEAP con sus siglas en inglés Water Evaluation And Planning system que traduce Sistema de evaluación y planificación del agua, es un software que modela simultáneamente la calidad y cantidad de los suministros y demandas de agua a nivel de cuenca hidrográfica, (Alamanos *et al.*, 2019; Hadded *et al.*, 2013).

WEAP se caracteriza por su enfoque integrado para simular sistemas de agua y por su orientación hacia la creación de políticas. WEAP coloca el lado de la demanda (patrones de uso del agua, eficiencia del equipo, reutilización, costos y asignación) en igualdad de condiciones con el lado de la oferta (flujo de aguas, aguas subterráneas, embalses y transferencias de agua). WEAP provee un laboratorio para examinar estrategias alternativas de desarrollo y gestión del agua (Sieber, 2020).

1.5. INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP

Permite a los usuarios integrar el potencial de recuperación de energía, nutrientes o biomasa de las corrientes de desechos en la planificación de cuencas hidrográficas (Moncada *et al.*, 2020). La herramienta WEAP-REVAMP tiene dos componentes, un complemento WEAP (WEAPp) y una interfaz de Excel REVAMP (REVAMPei). El lenguaje de programación utilizado es Visual Basic para Aplicaciones (VBA) y la herramienta fue diseñada para ser ejecutada en un dispositivo que tenga Microsoft Excel y WEAP instalados. Primero, se estudiaron las funcionalidades WEAP y REVAMP para identificar variables comunes, requeridas y / o relevantes.

Luego, se definió el flujo de intercambio de datos entre los componentes considerando las opciones de entrada de datos en WEAP y REVAMP. Parámetros de calidad de las corrientes de desechos (p. Ej., DBO, DQO, N total, K total, P total), caracterización de los procesos de recuperación de recursos (p. Ej., Tasa de conversión de biomasa, DBO, DQO, Eficiencias de eliminación de N, K y P, rendimiento de lodos) y los precios de los productos se importan de WEAP a REVAMPei. Los datos de productos recuperados (por ejemplo, cantidad, ingresos potenciales, contenido de energía, contenido de N, K y P) se exportan de REVAMPei a WEAP (Moncada *et al.*, 2020).

1.6. ANTECEDENTES SOBRE EL USO DE LOS LODOS DE PTAR EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

A continuación, se presenta algunos estudios realizados a nivel nacional e internacional sobre el uso de lodos, provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la aplicación de las herramientas WEAP + REVAMP para evaluar a nivel de cuenca el potencial de recuperación de nutrientes es novedad.

El biosólido es el producto resultante de la estabilización de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales, en la investigación realizada en Tuluá, Colombia donde se hicieron ensayos para analizar el uso agrícola de los biosólidos de la PTAR de una empresa de alimentos; se evaluaron efectos en la germinación y desarrollo de la especie vegetal *Coriandrum sativum* mediante ensayos que mezclaron diferentes cantidades de biosólidos, suelo del terreno y fertilizante comercial, y se tuvieron en cuenta: características del lugar de siembra, del biosólido y de *Coriandrum sativum*. En la que emplearon un diseño de bloques al azar para comparar los tratamientos bajo estudio y se obtuvieron como resultado que la combinación de 50% biosólidos con 50% suelo del terreno fue el mejor ensayo por germinación, altura, masa y longitud de las raíces de la planta estudiada (Santacoloma *et al.*, 2020).

En la ciudad de Santiago de los Caballeros en República Dominicana se realizó una investigación en la que se analizó las características de los biosólidos producidos en la PTAR Rafey, la cuál es la más importante de la ciudad. Así, se buscaron

determinar el potencial aprovechable de dichos biosólidos en la agricultura. la experimentación consistió en cinco bloques parcelarios, con tres aplicaciones diferentes de los biosólidos, con un bloque testigo y con un bloque fertilizado con abono químico. En laboratorio analizaron las características del suelo y de los biosólidos, y el comportamiento del cultivo de maíz en cada bloque. Los datos recogidos los tabularon en Excel y en el programa SPSS. La principal conclusión de esta investigación es que los biosólidos producidos en la PTAR Rafey tiene características óptimas para su aprovechamiento agrícola, especialmente utilizado como fertilizante en el cultivo del maíz, el biosólido genera mejores resultados que los fertilizantes químicos (Martinez *et al.*,2020).

En Ecuador realizaron una investigación que tuvo como propósito, evaluar los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón El Carmen como biosólidos para el sector forestal. Categorizaron el lodo residual, donde utilizaron la metodología recomendada por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SERMANAT-2002, realizaron análisis químicos (Hg, Pb y Cd) y biológicos (Coliformes fecales y Huevos de helmintos), además se determinaron las mezclas más efectivas de biosólidos por medio de un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos y 4 repeticiones, dando un total de 12 unidades experimentales, el T0 consistió en colocar dos semillas de forma natural en 100% de suelo degradado, mientras que el T1 y T2 se realizaron de forma análoga, utilizaron suelo degradado y lodo residual variando 30 y 60%, monitoreando por 21 días para así determinar el crecimiento de las plantas. Por último, establecieron la factibilidad económica para la aplicación de los biosólidos mediante un análisis costo unitario en cuanto a los costos asociados. Como resultado se comprobaron que los lodos provenientes de la PTAR sirven como biosólidos para aplicación del sector forestal ya que tuvo efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas (Andrade & Solórzano, 2021).

En España específicamente en una finca experimental en Arazuri, donde desde hace 25 años se realizan ensayos con aplicaciones de dosis extremas de lodo, se analizaron algunas de las parcelas existentes en la finca con el objeto de conocer (i) la concentración de metales pesados totales y biodisponibles, (ii) la caracterización físico-química de los suelos, analizando el contenido en materia orgánica y nutrientes y su disponibilidad, y (iii) los no menos importantes indicadores de biomasa y actividad microbiana, los resultados que obtuvieron demuestran que el lodo bien gestionado se trata de un producto seguro, ya que su aplicación repetida

no conlleva un incremento en el contenido de metales pesados en las formas químicas disponibles para los seres vivos. Asimismo, aporta dosis importantes de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, y puede sustituir a importantes cantidades de abonos minerales, contribuyendo al ahorro de recursos y emisiones de CO₂ derivadas de su fabricación (Amorea *et al.*, 2017).

En Madrid, España se realizó un ensayo de campo con camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz para estudiar su comportamiento en rotación de cultivo con un ensayo de fitorremediación con cardo (*Cynara cardunculus* L.), en un suelo representativo de un agroecosistema semiárido. El diseño experimental constó de parcelas sembradas con *Camelina sativa* (L.) Crantz, aprovechando la fertilización residual de enmiendas con dosis de lodo secado térmicamente (ST50) y (ST100) y de lodo compostado con resto de poda (CP50) y (CP100) comparados con un suelo control (T), en rotación de cultivo con un ensayo de fitorremediación con cardo. Presentando como resultado que la fertilización residual con el lodo secado térmicamente (ST50) mejora la respuesta del cultivo, aumentando los valores de producción respecto del control y de la fertilización residual con lodo compostado con resto de poda. También con el efecto residual del lodo secado térmicamente (ST50) se consigue un aprovechamiento más eficaz del nitrógeno aplicado (proteína) y un mayor contenido en grasa y los suelos fertilizados con lodos experimentaron un incremento de pH, materia orgánica, P, K, Ca, Mg y Na. La concentración de micronutrientes Cu, Zn y Ni y metales pesados Cr, Cd y Pb aumentó respecto del testigo, donde no se presentó riesgos de contaminación (Delgado *et al.*, 2015).

En Brasil se realizó una investigación cuyo objetivo fue estudiar la aplicación de SS procedentes de la balsa de estabilización primaria en rosas de la variedad 'Carola'. Para el experimento, plantaron las rosas en recipientes de 20 L utilizando dosis crecientes de lodo (T2 - 12 Mg ha⁻¹, T3 - 24 Mg ha⁻¹ y T4 - 36 Mg ha⁻¹), fertilizante mineral (T5) y tratamiento control (T1, sin N) en un diseño de bloques al azar. Los parámetros que evaluaron fueron: masa seca de raíces, masa seca aérea, biomasa total, área de folíolos y concentración de nitrógeno en la hoja. La aplicación de SS resultó en un mejor desarrollo de la rosa, aumentando las raíces y la biomasa aérea, el área de folíolos y el contenido de nitrógeno en las hojas en comparación con el control (T1). No hubo diferencias estadísticas entre el uso de fertilizantes minerales (T5), y el SS en la dosis más alta (T4). Con estos beneficios, el uso en agricultura

de los lodos de depuradora derivados de las lagunas de estabilización demostró ser una opción adecuada para su eliminación (Paixão *et al.*, 2013)

1.7. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACTUAL DE TUPIZA

La actual Planta de Tratamiento Aguas Residuales está conformado por rejillas de desbaste, desarenador, cuatro cámaras de distribución de caudales, dos aforadores parshall. En la Figura 1 se evidencia la presencia de dos lagunas facultativas, cuatro lagunas de maduración, seis unidades de lecho de secado de lodos (Armijo C &C, 2021).

Figura 1. Actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Tupiza



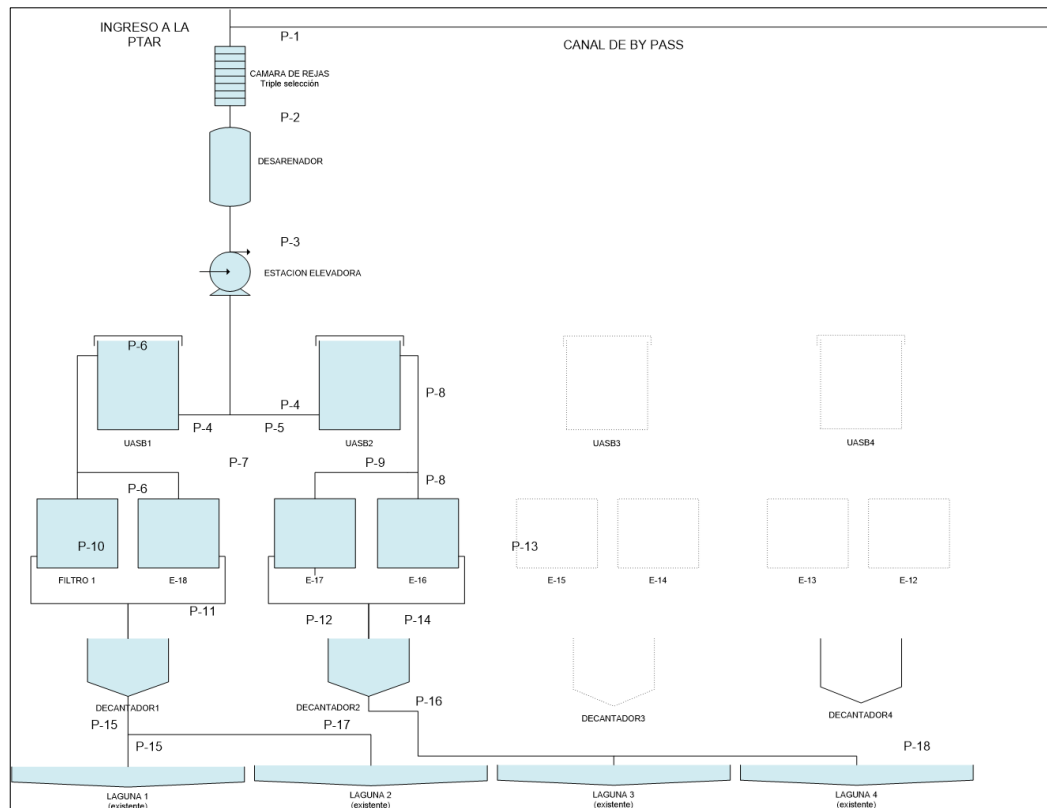
Fuente: Armijo C&C, 2021.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), fue construida en 1999 y proyectada hasta 2007, está ya ha cumplido su vida útil y los caudales de llegada actuales exceden la capacidad de tratamiento. La inexistencia de mantenimiento ha producido que el tratamiento de aguas residuales tenga un impacto ambiental negativo en el río. Existe un elevado nivel de agua de infiltración que ingresa a la PTAR y que distorsiona su capacidad de tratamiento y la calidad del agua que se

descarga al río no cumple con los límites establecidos en la ley Boliviana 1333 de 1992 (Armijo C&C, 2021). Es por eso que se construirá una nueva PTAR con una tecnología de tratamiento más eficiente que permitirá cumplir con los estándares de calidad de agua para descargar al afluente.

1.7.1. Planes de ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales actual de Tupiza. Se tiene proyectado para el año 2023 la ejecución de la nueva PTAR la que contará con la construcción de una estación elevadora al ingreso de la PTAR, se realizará el relleno de las lagunas primarias y se construirá una plataforma. También se planea construir de dos o cuatro unidades UASB primarias y de cuatro a ocho unidades de filtros percoladores más decantadores secundarios. Finalmente se pretende hacer la rehabilitación de las lagunas de maduración y construir canchas de secado de lodos (Armijo C&C, 2021). En la Figura 2 se enseña la configuración proyectada de la PTAR.

Figura 2. Configuración de la nueva PTAR en Tupiza



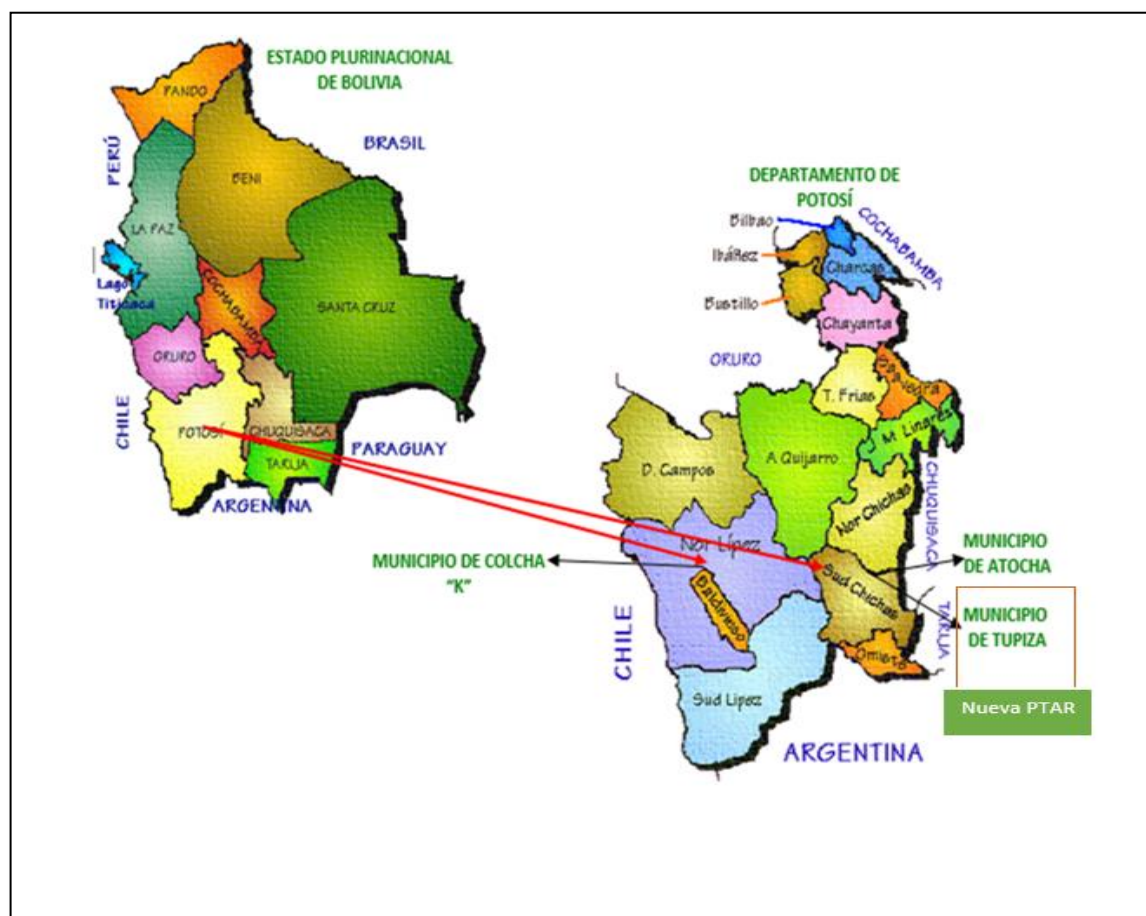
Fuente: Armijo C&C, 2021.

2. METODOLOGIA

2.1 LOCALIZACIÓN

En la investigación se tuvo en cuenta la ubicación de la nueva PTAR que va a estar ubicada en la ciudad de Tupiza (ver Figura 3) es la capital de la 1ra. Sección de la provincia “Sud Chichas”, departamento de Potosí del Estado Plurinacional de Bolivia. La población total estimada para el año 2019 es de 49.059 habitantes y la población urbana de 30.063 Habs (Stockholm Environment Institute & Helvetas Bolivia, 2020).

Figura 3. Localización del municipio de la nueva PTAR en el municipio de Tupiza



Fuente: DESMA, 2018

2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se implementó la investigación mixta en el sentido que usaron datos cuantitativos y cualitativos de tipo descriptivo con un método deductivo donde se empleó el análisis documental para analizar la normativa sobre el uso de lodos, se analizó la base de datos del Censo Agropecuario de Bolivia y la base de datos de encuesta Socioeconómica Tupiza, también se aplicaron y analizaron entrevista semiestructuradas autoridades de las comunidades de la cuenca y se empleó la interoperabilidad de WEAP + REVAMP para estimar la cantidad promedio de lodos y el contenido de elementos mayores. Esta investigación se desarrolló en cinco fases como se muestra a continuación:

Fase 1: Estado del arte y marco normativo aplicable al uso de lodos en Bolivia.

Fase 2: Aplicación de entrevistas a productores de Tupiza y análisis de la información obtenida del censo agropecuario, encuestas, entrevistas a los productores para caracterizar los sistemas de producción agrícola y la demanda de lodos como posible insumo para compostaje

Fase 3: Caracterización de calidad de agua y lodos provenientes de la PTAR de Tupiza.

Fase 4: Modelación de la recuperación de recursos en la PTAR Tupiza, usando la interoperabilidad de WEAP Y REVAMP.

Fase 5: Establecimiento de los posibles usos de lodos en sistema de producción agrícola en Tupiza.

2.3 FASE 1: ESTADO DEL ARTE Y MARCO NORMATIVO APLICABLE AL USO DE LODOS EN BOLIVIA

2.3.1. Actividad 1: Recolección de la información. Inicialmente se recolectó la información empleando bases de datos, artículos y referencias bibliográficas en internet, donde se examinaron datos referidos a la normativa existente en Bolivia y en otros países, sobre el uso de lodos generados en una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales), además, se eligió referencia el Diario Oficial de las Comunidades Europeas y los casos de España y Colombia.

2.3.2. Actividad 2: Análisis documental. Se emplearon las técnicas de análisis documental donde se unifico, clasifico y se extrajo la información relevante del Diario Oficial de las Comunidades Europeas, del Real Decreto 1310/1990 de España y del decreto 1287 del 2014 de Colombia para llegar a las construcción de cuadros comparativos que presentan algunas definiciones de lodo, lodo de depuración, lodos tratado, biosólidos y se realizó una comparación de valores límite de concentración de metales pesados en los lodos, biosólidos destinados a su utilización, valores límite de concentración de metales pesados en los suelos en los que se aplicaran los lodos y los valores límite para las cantidades anuales de metales pesados que se podrán introducir en las tierras cultivadas.

2.3.3. Actividad 3: Propuesta de marco normativo. Por último, se retomaron los elementos más importantes de las regulaciones ya mencionadas para hacer una propuesta de marco normativo que contiene los siguientes aspectos: definición de lodo residual, límite de concentración de metales pesados en los suelos en lo que aplicara el lodo residual, límite de concentración de metales pesados en lodo residual y límite de carga microbiológica en lodos residuales, restricciones según categorías para de uso de lodos.

2.3.4. Actividad 4: Socialización de marco normativo a actores relevantes. Se realizó la socialización de la normativa de uso de lodos en la que hizo un intercambio de ideas sobre normativa de lodos y aguas de reúso con actores relevantes como son:

El presidente del directorio nacional de la Asociación Boliviana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Socios de la Asociación Boliviana de Ingeniería Sanitaria la Paz (ABIS), integrantes del programa Bolivia WATCH – SEI (ver Anexo 1) en la que se tomó a consideración recomendaciones y pasos a seguir.

2.4 FASE 2: ANALISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DEL CENSO AGROPECUARIO, ENCUESTAS, ENTREVISTAS A LOS PRODUCTORES PARA CARACTERIZAR LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y LA DEMANDA DE LODOS COMO POSIBLE INSUMO PARA COMPOSTAJE

2.4.1. Actividad 1: Análisis del Censo Agropecuario 2013. Para realizar el análisis de la base de datos “Censo Agropecuario 2013” se identificaron las comunidades presentes en la cuenca Tupiza y el área de los cultivos, en total 33 comunidades, y se efectuó la separación de datos por comunidad, donde 16 comunidades disponían de información (ver Anexo 2) y 17 comunidades no disponían de datos.

2.4.2. Actividad 2: Análisis de encuesta Socioeconómica Tupiza año 2020. Se realizó un análisis a la encuesta Socioeconómica aplicada por Stockholm Environment Institute (SEI) como parte de un estudio en la cuenca Tupiza, de esta encuesta se analizaron el uso de la tierra en ganadería, agricultura, el área de los cultivos más representativos por comunidades, el uso de la tierra en floricultura, en frutales por comunidades. Para ello se tuvieron en cuenta las respuestas dadas por 311 hogares de los 513 encuestados que conforman las diferentes comunidades ubicadas en Tupiza

2.4.3. Actividad 3: Aplicación de entrevistas semiestructuradas (Whatsapp, Zoom o Skype). Se aplicaron siete entrevistas semiestructuradas en forma de preguntas abiertas, en Anexo 3 se encuentra las preguntas aplicadas con el fin de complementar la información para la caracterización del sistema productivo. El número de entrevistas no se definió por estadística si no inducido por las medidas sanitarias del COVID – 19 por eso se aplicaron las entrevistas (on line) a autoridades de las comunidades de la cuenca.

2.4.4. Actividad 4: análisis de entrevistas. Se transcribió cada entrevista y se filtró la información más relevante como cultivos principales, uso de abonos o fertilizantes para complementar la información obtenida del Censo Agropecuario y la encuesta Socioeconómica.

2.4.5. Actividad 5. Caracterización del sistema agrícola. Después del análisis del Censo agropecuario, la encuesta Socioeconomica y las entrevistas, se realizó una caracterización del sistema productivo agrícola en cuenca, donde se identificó: el uso de la tierra, las actividades agrícolas presentes, los cultivos de relevancia, cantidad producida y consumida de cada cultivo importancia de la actividad agrícola en Tupiza, uso y demanda de fertilizantes agrícolas y aceptación de lodo como posible insumo para realizar compostaje.

2.5 FASE 3: CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y LODOS PROVENIENTES DE LA PTAR DE TUPIZA

2.5.1. Actividad 1: Revisión de la caracterización de agua y lodos realizada por Armijo C&C. Se revisó el documento denominado “Mejoramiento Y Ampliación Sistema De Alcantarillado Sanitario y Construcción de la Planta de Tratamiento De Aguas Residuales Ciudad De Tupiza” compartido por Armijo C&C donde se analizó la caracterización de agua y lodos de la PTAR Tupiza para así unificar esfuerzos y criterios para la próxima caracterización de aguas y lodos.

2.5.2. Actividad 2: Caracterización de agua y lodos. La caracterización de aguas residuales y lodos se llevó a cabo en la PTAR Tupiza en respuesta al pedido del Instituto Ambiental de Estocolmo – SEI para realizar el monitoreo y análisis de muestras compuestas de agua y lodo, el análisis lo realizó el laboratorio ENVIROLAB S.R.L, quien tomó una muestra en la mañana y en la tarde en el ingreso a la PTAR específicamente en las coordenadas este: 21889 y norte: 7621795 y una muestra de lodos en la laguna facultativa coordenadas este: 218991 y norte: 7621718 (ver Figuras 4 y 5).

Después de la toma de muestras se procedieron a realizar al análisis en el laboratorio de ENVIROLAB para enviar los resultados.

Figura 4. Ingreso a la PTAR



Fuente: ENVIROLAB, 2021

Figura 5. Laguna facultativa cuadrante Oeste y Sur



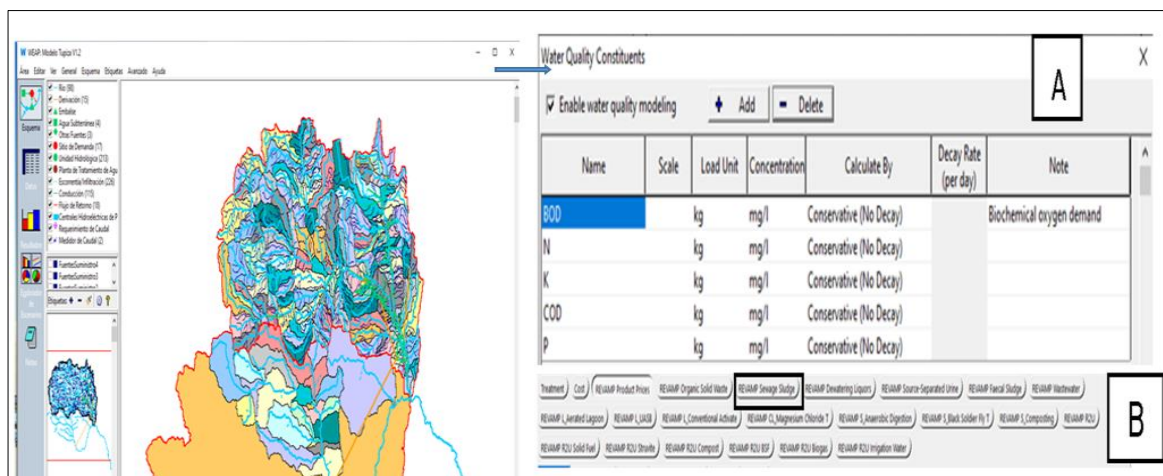
Fuente: ENVIROLAB, 2021

2.5.3. Actividad 3: Revisión del informe entregado por el laboratorio ENVIROLAB S.R.L. Se realizó una revisión al informe entregado por el laboratorio (Anexo 4) para corroborar si la información correspondía con lo solicitado.

2.6 FASE 4: MODELACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE RECURSOS EN LA PTAR TUPIZA, USANDO LA INTEROPERABILIDAD DE WEAP Y REVAMP

2.6.1. Actividad 1: Introducción de parámetros de calidad de agua y lodos en WEAP + REVAMP. Una vez revisado el informe entregado por ENVIROLAB S.R.L. (ver Anexo 4) se introdujeron en el modelo WEAP de Tupiza. En la Figura 6-A, se enseña como aparecen en WEAP + REVAMP estos atributos que se ingresaron en las respectivas casillas de Solidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), concentración de nitrógeno total (N), la concentración de fósforo total (P) y la concentración de potasio total (K).

Figura 6. Parámetros en WEAP – REVAMP de Calidad de agua y lodos



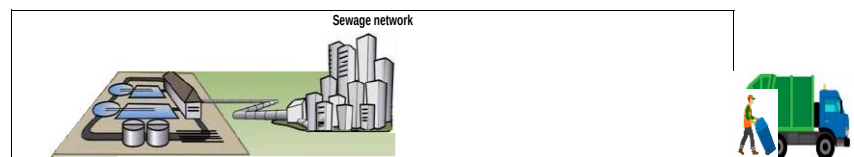
Fuente: Este estudio, 2022

Posteriormente se escogió en REVAMP en la casilla sewage-sludge (ver Figura 6-B), se introdujo los datos de tecnología de tratamiento (reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) + filtro percolador) referente a% de K inicial eliminado, % P inicial eliminado, el % N eliminado que termina como lodo, rendimiento de los lodos

La modelación se realizó del 2025 al 2051, para el 2025 se proyecta esté en funcionamiento la PTAR modelada.

Figura 7. Resultados REVAMP-Tupiza

WEAP Area	Modelo Tupiza V1.9
Start year	2025
Final Year	2052
TimeStep per year	365
Calculation	
Scenarios	AR proyectada con compos

[illegible]

44

2.7. FASE 5: ESTABLECIMIENTO DE POSIBLES USO DE LODOS EN UN SISTEMA DE PRODUCCION AGRICOLA

2.7.1. Actividad 1. Usando la información obtenida de las fases 1, 2, 3 y 4 en las que se empleó la normatividad propuesta, la caracterización de los sistemas de producción alrededor de cuenca y los datos generados por interoperabilidad de WEAP – REVAMP, se encontró que los lodos podrían ser usados para abonar pasturas en ganadería, para abonar cultivos, para abonar suelos destinados a la floricultura, como insumo para elaboración de compostaje, usando la información obtenida de las fases 1, 2, 3 en que se empleó la normatividad propuesta, la caracterización de los sistemas de producción alrededor de cuenca y los datos generados por interoperabilidad de WEAP – REVAMP.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

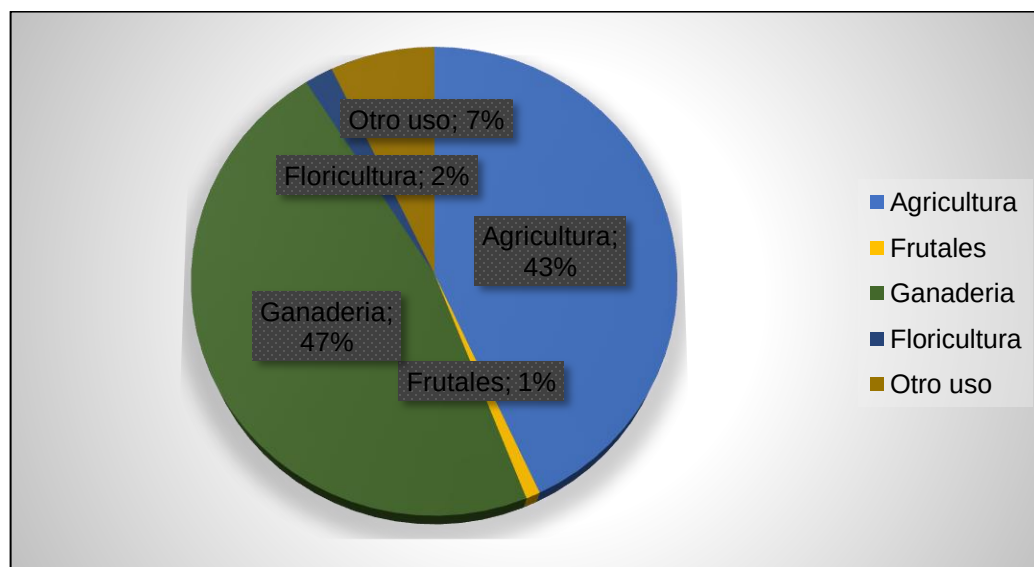
En esta etapa se procedió a caracterizar el sistema de producción agrícola en la cuenca, donde se identificó primero el uso de la tierra en la cuenca, luego las comunidades con terrenos en ganadería, comunidades con terrenos en agricultura, cultivos por comunidad según el Censo Agropecuario 2013 y la encuesta socioeconómica 2020, floricultura y frutales, el uso de abonos y fertilizantes.

Después de la caracterización agrícola se enseñan los resultados de WEAP + REVAMP y a partir de estos resultados se llegó a los posibles usos que se le pueden dar a todos en la cuenca.

3.1. USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA TUPIZA

Teniendo en cuenta la metodología elegida para este estudio (fase 2) se llegó a identificar que el uso de la tierra en la cuenca se destina en su mayoría a la ganadería y la agricultura ya que la actividad ganadera ocupa el 47% del área y la actividad agrícola el 43% del área estudiada (ver Figura 8).

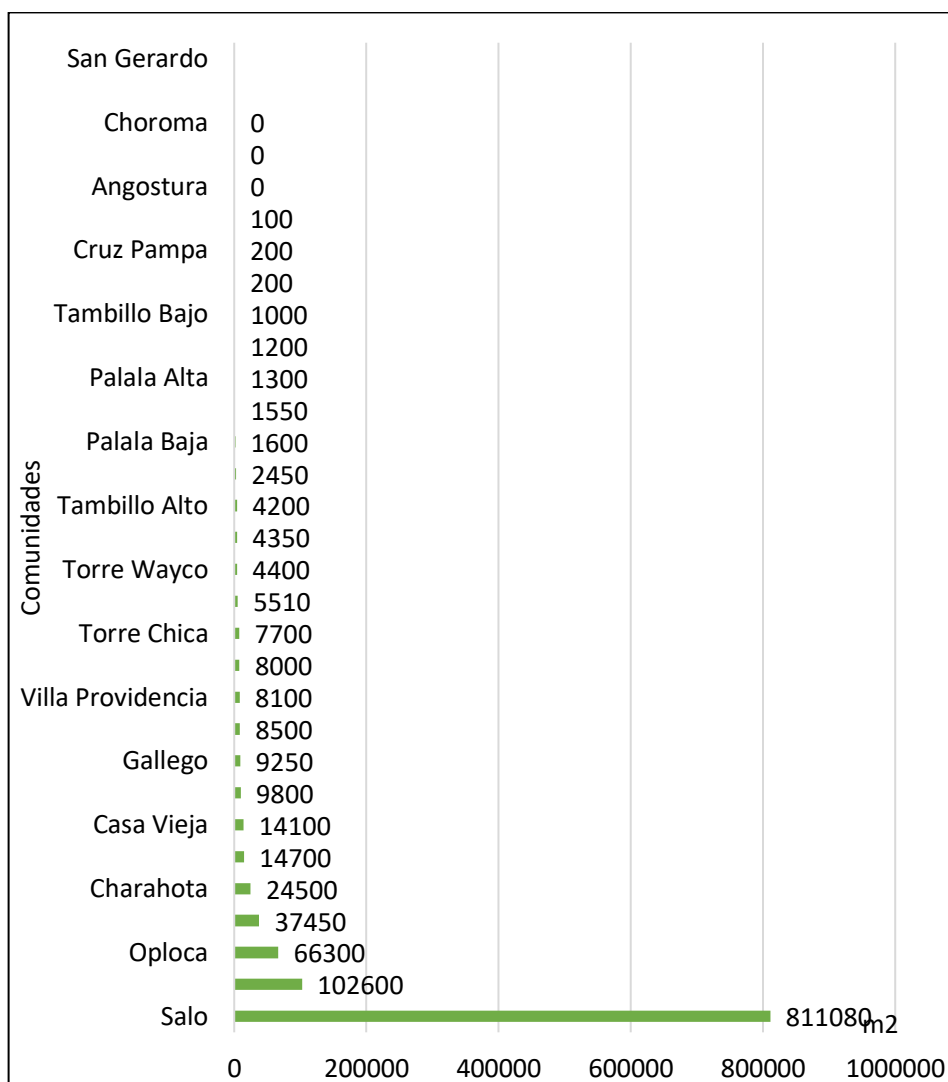
Figura 8. Uso de la tierra en la cuenca Tupiza, expresado en porcentaje.



Fuente: Este estudio, 2022

3.1.2. Comunidades con terrenos en pasturas para ganadería. Teniendo en cuenta que la mayor área se destina a la ganadería se pudo determinar que para el año 2020 las comunidades que presentan áreas de pasturas para esta actividad son: Salo, La Torre, Oploca, Almona, Charahota, San Miguel, Casa Vieja, Caracota, Gallego, Monte Rico, Villa Providencia, Entre Rios, Torre Chica, Chocaya, Torre Wayco, Pilquiza, Tambillo Alto, Oro Ingenio, Palala Baja, San Jose de Hornos, Palala Alta, Yurcuma, Tambillo Bajo, Chillco A, Cruz Pampa, Santa Elena (ver Figura 9).

Figura 9. Uso del terreno en pasturas para ganadería por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m²

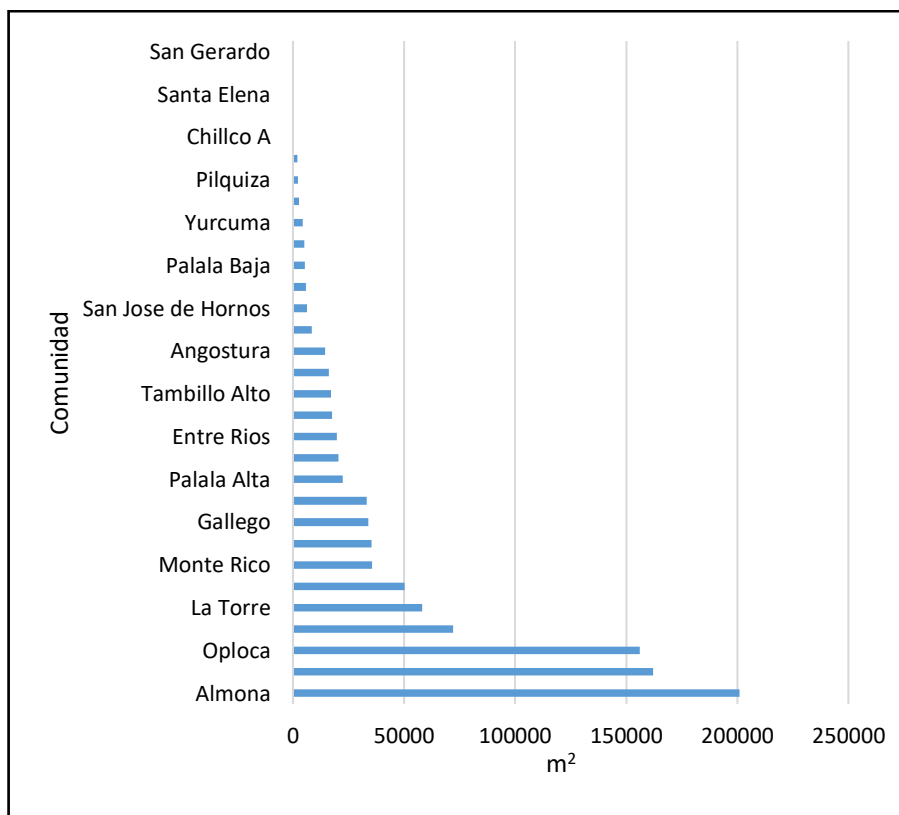


Fuente: Este estudio, 2022

En la Figura 9 se evidencia que la Comunidad de Salo destina un área 811.080 m² a pasturas, siendo la comunidad que mayor área destina. Sin embargo, las comunidades Oploca y La Torre, están en el grupo de las que mayor área destinan a comparación de las demás, ya que estas ocupan un área de ganadería entre 66.300 m² y 102.600 m².

3.1.3. Comunidades con terrenos en agricultura. Para el año 2020 las comunidades que presentan área en agricultura son : Almona, Salo, Oploca, Charahota, La Torre, San Miguel, Monte Rico, Casa Vieja, Gallego, Villa Providencia, Palala Alta, Torre Chica, Entre Rios, Caracota, Tambillo Alto, Bolívar, Angostura, Tambillo Bajo, San Jose de Hornos, Oro Ingenio, Palala Baja, Choroma, Yurcuma, Torre Wayco, Pilquiza, Chocaya, sin embrago las comunidades con mayor área son: Almona con 201.050 m², Salo con 162.020 m² y Oploca con 156.100 m² (Ver Figura 10).

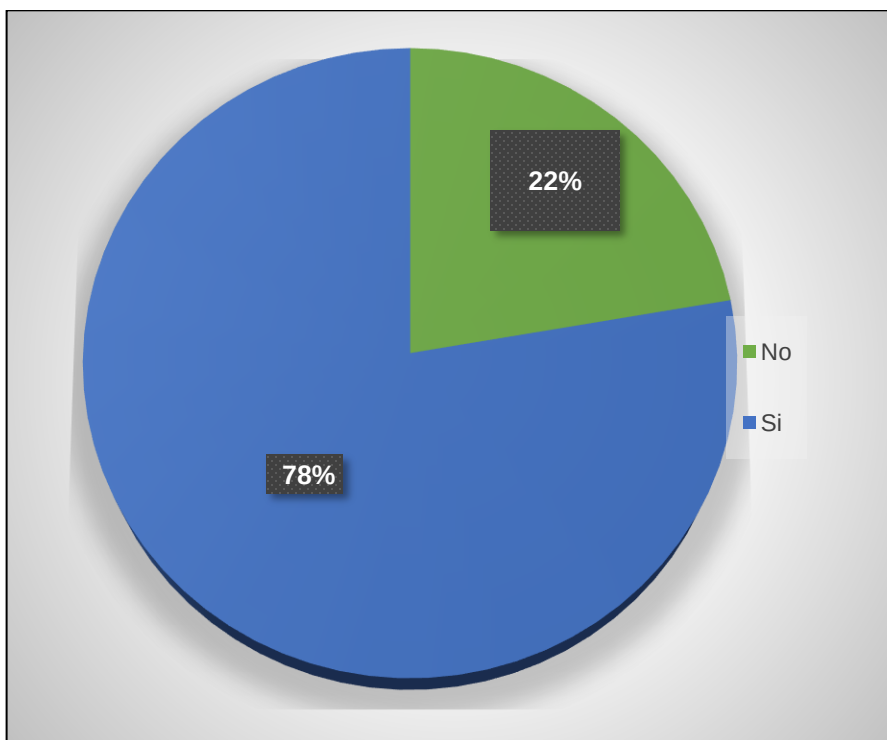
Figura 10. Comunidades con terrenos en Agricultura



Fuente: Este estudio, 2022

A través del análisis de la encuesta socioeconómica realizada en el año 2020 se llegó a que el 78% de hogares considera importante la agricultura para la economía/subsistencia del hogar (ver Figura 11) ya que esta actividad ocupa 43% del área total estudiada (ver Figura 8).

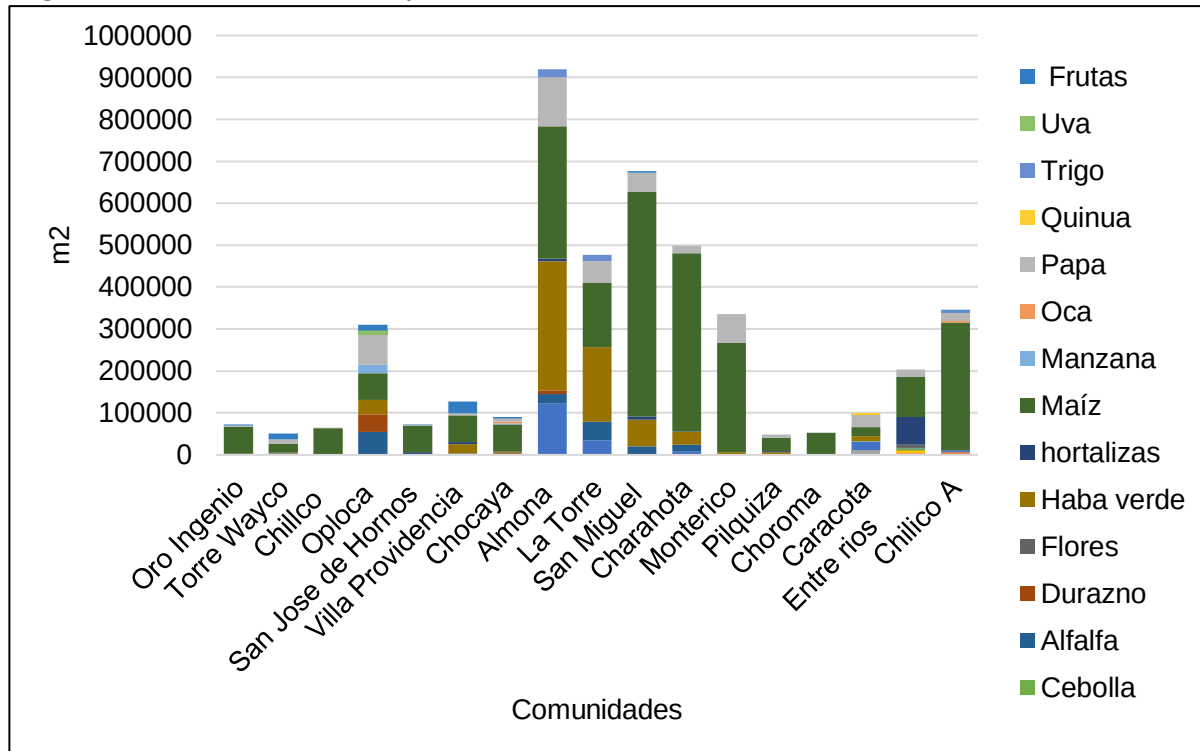
Figura 11. Respuesta a la pregunta los hogares consideraban si es importante la actividad agrícola para la economía/subsistencia del hogar, expresado en porcentaje.



Fuente: Este estudio, 2022

En consecuencia, de esto para el año 2013 se identificó que sembraban 19 cultivos en los que están: maíz, haba verde, papa, cebada en grano, cebolla alfalfa, hortalizas, frutas, durazno, trigo, manzana, zanahoria, arveja verde, ajo, uva, cebolla, flores, oca, betarra, quinua (ver Figura 12). El cultivo que ocupa mayor área es el maíz con 2.598.000 m² seguido del cultivo de haba con 665.000 m².

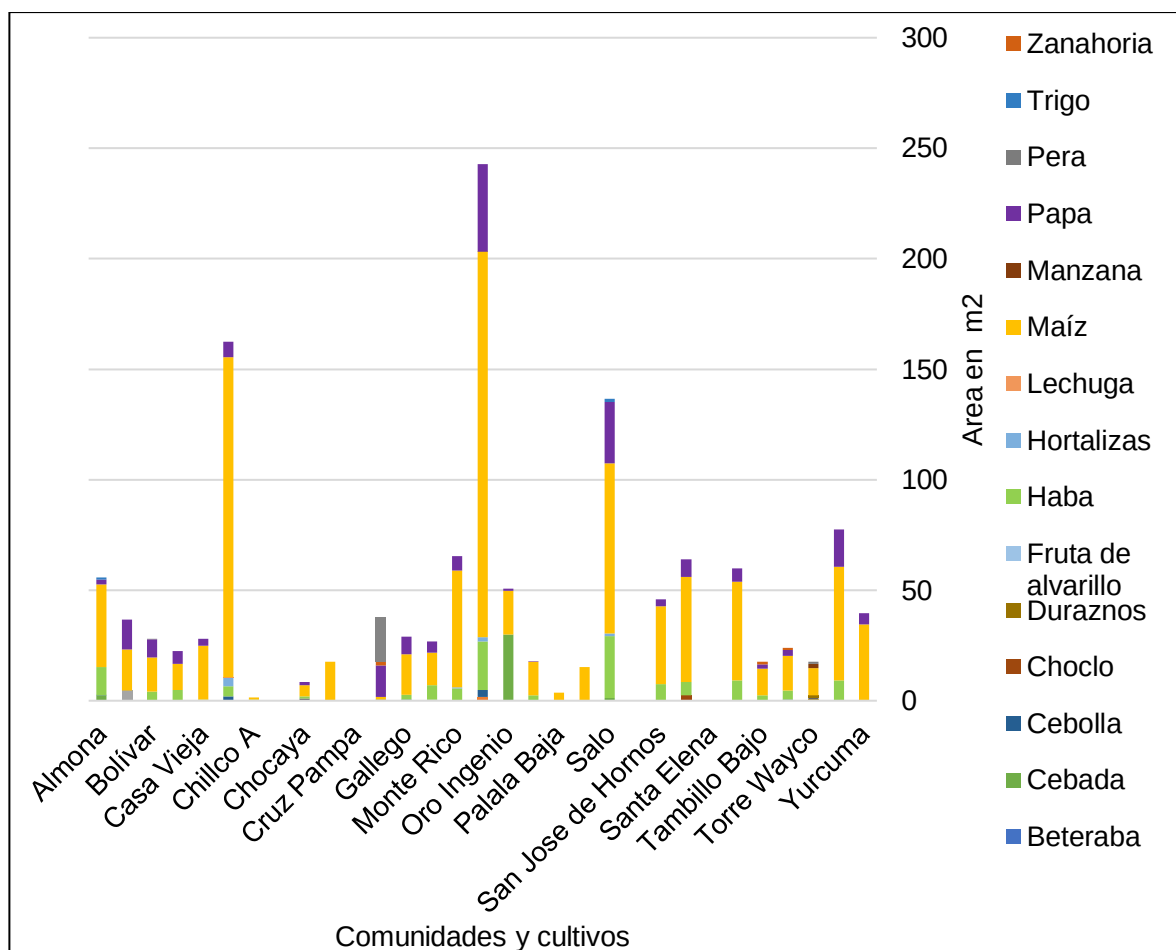
Figura 12. Área de cultivos por comunidades año 2013



Fuente: Este estudio, 2022

De la Figura 12 se puede concluir que los tres cultivos más significativos son el maíz, la papa y el haba Verde, estos se cultivan en todas las comunidades, excepto el haba verde que no se encontraron datos que se cultivara en Choroma, Chillco A y Entre Ríos. El maíz se cultiva en todas las comunidades, la comunidad que más cultiva es Opocla con 1.024.000 m² seguido de san miguel con 535.000 m², Charahota con 425.000 hectáreas y la comunidad Villa providencia con 322.000 m², la papa se cultiva más en Almona con 117.000 m² Oploca con 7,1 m², Monte Rico con 69.000 m², la torre con 51.000 m². Por último, el haba verde se cultiva en La Torre con 178.000 m², San Miguel con 64.000 m² y Oploca con 34.000 hectáreas Completando dicha información, y a través del análisis de la encuesta se llegó a que en el año 2020 siguen cultivando haba, papa, cebada, cebolla, betarra o beteraba, alfalfa, ajo, y también cultivan árboles frutales los cultivos con mayor área son el maíz y la papa (ver Figura 13).

Figura 13. Área sembrada en m² de los cultivos por comunidades para el año 2020 según la encuesta Socioeconómica

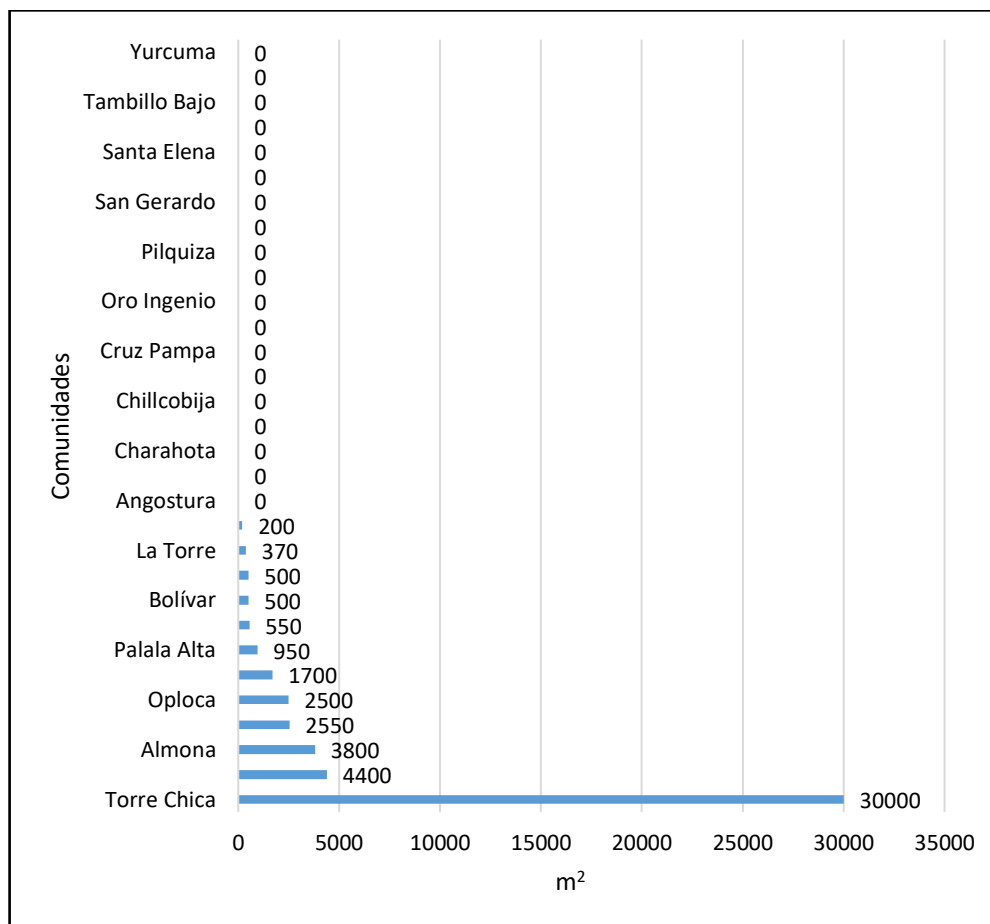


Fuente: Este estudio, 2022

Las comunidades que tienen mayor área sembrada para el año 2020 son: Oploca, Charahota, Salo, identificando que el cultivo que predomina es el maíz (ver Figura 13). Resultando preocupante que se destine mayor área a un solo cultivo ya que esto puede generar problemas de desnutrición en la zona rural, por lo tanto, es importante realizar actividades que promuevan la diversificación de los cultivos con el fin de aumentar la seguridad y soberanía alimentaria de las comunidades. Es posible alcanzar dichos propósitos mediante la capacitación técnica a los productores para así incrementar el rendimiento de los cultivos y el buen funcionamiento de los mercados de alimentos, insumos y trabajo (FAO y PMA, 2015).

3.1.4. Comunidades con terrenos en floricultura. Las comunidades que cultivan flores en la cuenca son Torre Chica, Villa Providencia, Almona, Caracota, Oploca, Entre Rios, Palala Alta, Chocaya, Bolívar, Monte Rico, La Torre, San Miguel. La comunidades que destinan un área entre 200 m² y 950 m² son San Migue,La Torre, Monte Rico, Bolivar, Chocaya y Palala Alta. (Ver Figura 14).

Figura 14. Uso del terreno en floricultura por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m²

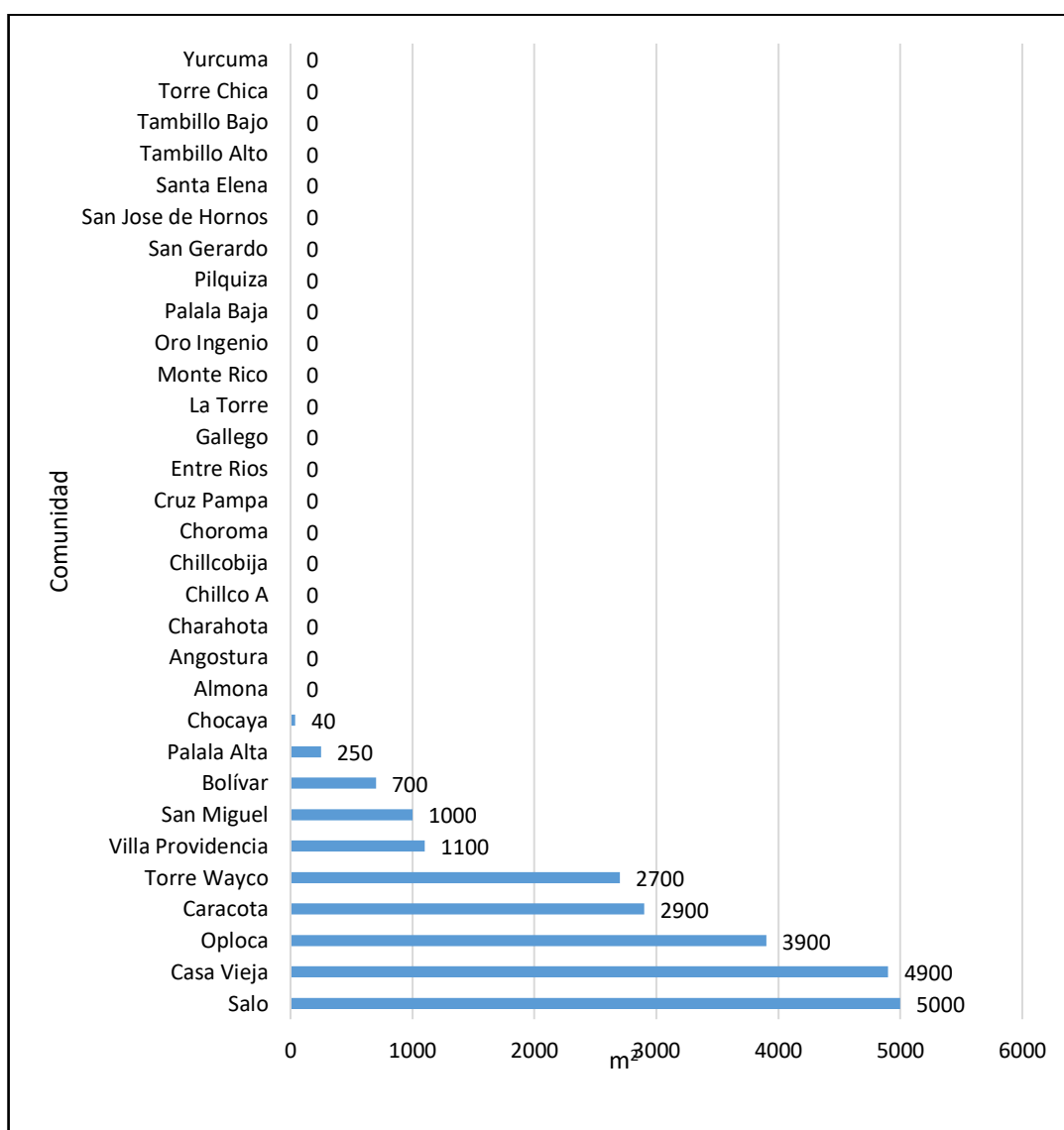


Fuente: Este estudio, 2022

Las comunidades que destinan entre 1700 m² y 30000 m² al cultivo de flores son Entre Rios, Oploca, Caracota, Almona, Villa Providencia y Torre Chica. Las tres comunidades con mayor área son Torre Chica, Villa Providencia y Caracota, siendo Torre Chica la que destina 30000 m² a este cultivo (ver figura 14).

3.1.5. Comunidades con terrenos destinados al cultivo de frutales. El cultivo de frutales está presente en las comunidades de Salo, Casa Vieja, Oploca, Caracota, Torre Wayco, Villa Providencia, San Miguel, Bolívar, Palala Alta, Chocaya (ver Figura 15). Las comunidades Chocaya, Palala Alta, Bolívar, San Miguel, Villa Providencia destina un área entre 40 m² y 1100 m² a este cultivo. La comunidad con que destina menor área es Chocaya.

Figura 15. Uso del terreno en frutales por comunidades de la cuenca Tupiza, expresado en m²



Fuente: Este estudio, 2022

Las comunidades que destinan un área entre 2700 m² y 5000 m² son Torre Wayco, Caracota, Oploca, Casa Vieja y Salo, las comunidades que mayor área destinan son Salo y Casa vieja con 4900 m² y 500 m².

3.2 USO DE ABONOS Y FERTILIZANTES

Del análisis de las entrevistas realizadas directamente a siete actores relevantes de la cuenca Tupiza entre octubre 2020 y mayo 2021, se puede concluir según sus percepciones, el cultivo más representativo en la cuenca Tupiza es el maíz, también cultivan papa y haba, el abono más utilizado para estos cultivos son las heces de animales sin ningún tratamiento por ejemplo el estiércol de las Bovinos, ovinos y caprinos.

Tabla 7. Precio de productos usados en la producción agrícola en la cuenca Tupiza

Categoría	Producto	Peso	Precio (Bs ^I)	Precio (USD ^{II})
Químico	Urea	50kg	120	17,44
	Fosfato Diamónico	50 kg	290	42,23
	Triple 15	50 kg	280	40,77
Orgánico	Gallinaza	50 kg	20	2.91
	Estiércol oveja	11 m ³	2000	290

Nota: ^I Pesos bolivianos, ^{II} dólares estadounidenses

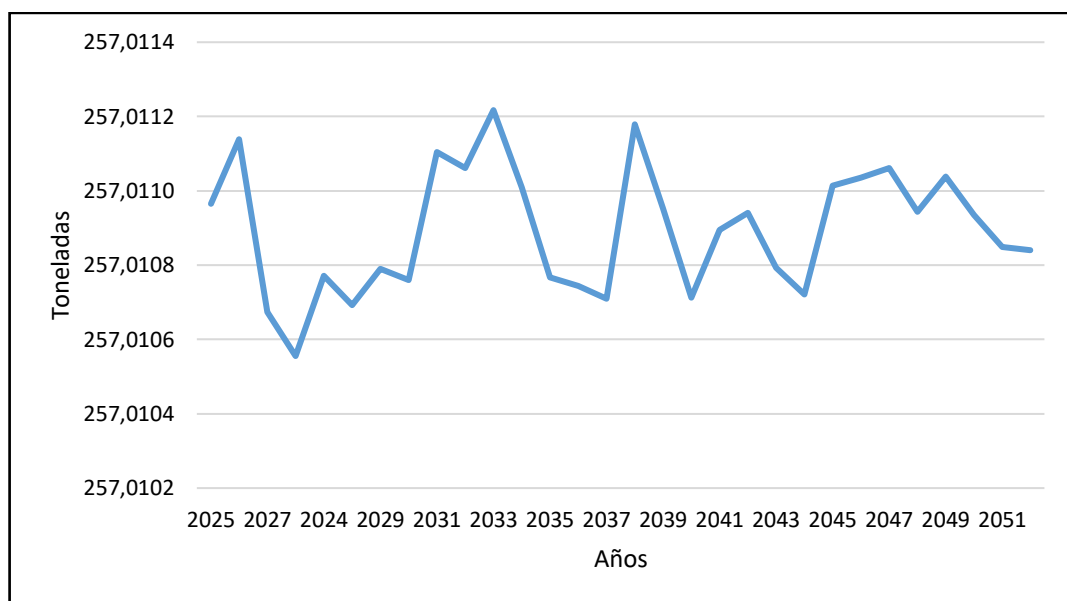
Fuente: Este estudio, 2022

Muy pocos productores utilizan fertilizantes de síntesis química entre los que están el uso de la urea, el Fosfato de Diamonico, el triple 15, en la Tabla 7 se enseñan los productos usados, el peso y el precio de venta, según las entrevista realizadas las personas manifiestan que están dispuestas usar el lodo para abonar sus cultivos, ya que durante el proceso de nutrición del cultivo les ha hecho falta heces de animales para aplicar, así que se puede inferir que hay una potencial demanda de lodos para aplicarlo a los cultivos.

3.3. MODELACIÓN EN WEAP + REVAMP DE LA CANTIDAD DE LODOS ENTRE EL 2025 Y 2051

En la siguiente figura se enseña que la cantidad de lodos posible que producirá entre los años 2025 y 2051 en la PTAR Tupiza, en la que se puede identificar que no varía significativamente la producción de lodos con una producción entre 257,0106 t y 257,0112 t/año (ver Figura 16). Ya que se tuvo en cuenta el caudal máximo de diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y en la modelación no considero el creamiento poblacional.

Figura 16. Resultados de la modelación en WEAP+REVAMP de la producción de lodos en la PTAR Tupiza



Fuente: Este estudio, 2022, con datos proporcionados por el equipo de SEI

La producción media de lodos de lodos entre el 2025 y el 2051 es 257,0110 t/año. La cantidad promedio de lodos estimada es un valor considerable que podría ser aprovechado, para no ser dispuesto en un botadero a cielo abierto o se acumule en el sistema de tratamiento.

3.3.1. Modelación en WEAP + REVAMP de la cantidad de nutrientes presentes el lodo. A partir de la modelación se generó el porcentaje promedio de nitrógeno, fósforo y potasio en lodo, donde se encontró que este contiene un 45,4% de nitrógeno, 31, 2% de potasio y 4,9% de fósforo de (ver Tabla 8) lo que indica que el lodo tiene un potencial en la producción agrícola, específicamente pasturas en ganadería, cultivos, flores, árboles frutales y forestales.

Tabla 8. Resultados de cantidad de lodos en REVAMP

REVAMP	
Cantidad promedio toneladas de lodos	257,0110
N ^I en el lodo (%)	45,4133
P ^{II} en el lodo (%)	4,9313
K ^{III} en el lodo (%)	31,2056

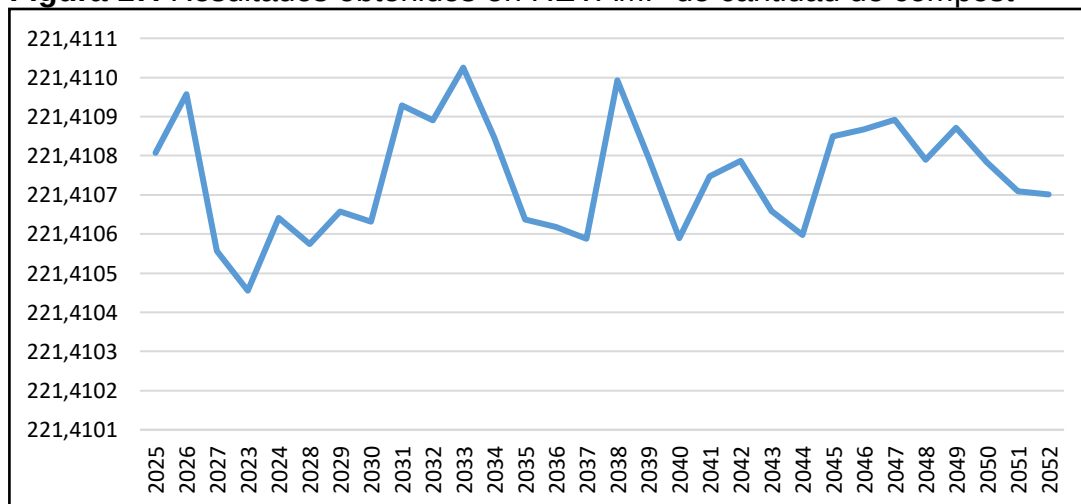
Nota: ^I Nitrógeno, ^{II} Fósforo, ^{III} Potasio

Fuente: Este estudio, 2022, con datos proporcionados por el equipo de SEI

De la modelación se puede inferir el lodo puede contener una cantidad importante de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), pero no se sabe el contenido de químicos metales y microorganismos en el lodo ya que las herramientas no permiten modelar la remoción de estos.

3.3.2. Cantidad de compost. En la modelación de la cantidad de compost entre el 2025 y 2051 se evidencia que la cantidad mínima que se producirá es 221,410 t/año y la cantidad máxima que se producirá es 221,4110 (Ver Figura 17) llegando a una cantidad promedio de 221,4107 t/año.

Figura 17. Resultados obtenidos en REVAMP de cantidad de compost



Fuente: Este estudio, 2022, con datos proporcionados por el equipo de SEI

3.3.3. Modelación en WEAP + REVAMP de la cantidad de nutrientes presentes el compost. La modelación en WEAP + REVAMP permitió obtener el porcentaje de N, K, P posible lo que determina que el compost que llegue realizar podría tener 43,2 % de N, 34,3% K y 5,6% de P (ver Tabla 9) lo que nos indica que el compostaje que se llegue a realizar es una opción para recuperar nutrientes y para darle un uso al lodo que genere en la PTAR.

Tabla 9. Resultados de cantidad de compost en REVAMP

REVAMP	
Cantidad promedio toneladas de compost	221,4107
N ^I en el lodo (%)	43,2762
P ^{II} en el lodo (%)	5,6855
K ^{III} en el lodo (%)	34,3262

Nota: ^I Nitrógeno, ^{II} Fósforo, ^{III} Potasio

Fuente: Este estudio, 2022, con datos proporcionados por el equipo de SEI

En esta sección es indispensable resaltar que para establecer el uso de lodos se tuvo en cuenta el marco normativo de uso de lodos en específico las categorías de biosólidos de la normativa colombiana, la caracterización agrícola de la cuenca Tupiza y los resultados de WEAP + REVAMP.

3.4. USO DE LODOS PARA ABONAR PASTURAS EN GANADERÍA

Teniendo en cuenta que la cantidad de lodos que produciría en al PTAR es considerable y que lodos presentan una cantidad interesante de N, P, K estos podrían ser usados para fertilización de los pastos que destinan a la ganadería, especial en la comunidad de Salo, que es la comunidad que mayor área destina a esta actividad.

Para poder ser usado el lodo en esta actividad deberá estar en la categoría A o B de la Tabla 6 de la norma Colombia 1287 del 2014 que se toma referencia ya que

los lodos que contengan niveles mayores de químicos metales y microorganismos se les deberá realizar otro proceso de tratamiento para poder ser utilizados.

3.4.1. Uso de lodos para abonar cultivos. Con base a que la actividad agrícola es importante para los habitantes de la cuenca Tupiza y es la segunda actividad que mayor área ocupa, los lodos podrían ser utilizados en las comunidades: Oploca, Charahota y Salo para abonar los cultivos de haba, papa, cebada, cebolla, betarra o beteraba, alfalfa, ajo, sin embargo, se puede destinar mayor cantidad de lodos al cultivo de maíz que es el principal. El lodo podría aportar al suelo de estos cultivos una cantidad importante de N, P, K, además es un recurso que estar disponible en la PTAR de Tupiza alrededor de unas 221 t/año.

Los lodos que se destinen a esta actividad deberán estar en la categoría A de la Tabla 6. según la norma Colombia 1287 del 2014 tomada como referencia. Los lodos que contengan niveles mayores de químicos metales y microorganismos se les deberá realizar otro proceso de tratamiento para poder ser utilizados.

3.4.2. Uso de lodos para abonar suelos destinados a la floricultura. Tomando en consideración que también cultivan flores en la cuenca se podría usar los lodos para abonar este cultivo en específico en las comunidades de Torre Chica, Villa Providencia, Almona, Caracota, Oploca, Entre Rios, Palala Alta, Chocaya, Bolívar, Monte Rico, La Torre, San Miguel.

Los lodos que se destinen para esta actividad deberán estar en la categoría A o B de la Tabla 6. Según la norma colombiana 1287 del 2014. Los lodos que contengan niveles mayores de químicos metales y microorganismos se les deberá realizar otro proceso de tratamiento para poder ser utilizados.

3.4.3. Uso lodos como insumo para elaboración de compostaje. La diferencia de los otros usos ya mencionados, el uso del lodo para elaboración de compostaje proporcionaría un proceso de tratamiento a los lodos a la vez que se pueden aprovechar 5 t/día de residuos orgánicos que se produce en Tupiza y va al vertedero.

La modelación de la cantidad de compost y el porcentaje de nutrientes refleja que este producto tiene potencial para ser usado en diferentes cultivos, así que podría usar este compost en: Almona, Angostura, Bolívar, Caracota, Casa Vieja,

Charahota, Chillco A, Chocaya, Choroma, Entre Rios, Gallego, La Torre, Monte Rico, Oploca, Oro Ingenio, Palala Alta, Palala Baja, Pilquiza, Salo, San Jose de Hornos, San Miguel, Tambillo Alto, Tambillo Bajo, Torre Chica, Torre Wayco, Villa Providencia, Yurcuma. Los lodos que se utilicen para elaborar compost deberán estar A o B de la Tabla 6 según la norma colombiana 1287 del 2014 tomada referencia.

4. CONCLUSIONES

El resultado de la modelación WEAP + REVAM de la cantidad promedio de lodos es 257,011 t /año es un valor considerable que podría ser aprovechado, para no ser dispuesto en un botadero a cielo abierto o se acumule en el sistema de tratamiento.

La modelación arroja que el lodo contendría un 45,4% de nitrógeno. 31,2% de potasio y 4,9% de fósforo lo que indica que este producto tiene un potencial en la producción agrícola que podría ser usado abonar cultivos, pasturas en ganadería, para abonar suelos con cultivo de flores y como insumo para compostaje.

Los lodos que se encuentre en la categoría A o B de la norma colombiana tomada como referencia podrían ser usados para abonar tierras con pasturas en ganadería en la comunidad de Salo, que es la comunidad que mayor área destina a esta actividad. Los lodos que se destinen a abonar cultivos deberán estar en la categoría A, de la norma ya mencionada, y estos lodos se podrán aplicar en las comunidades: Oploca, Charahota y Salo para abonar los cultivos de haba, papa, cebada, cebolla, betarra o beteraba, alfalfa, ajo, sin embargo, se puede destinar mayor cantidad de lodos al cultivo de maíz que es el principal.

El lodo para la elaboración de compostaje podría proporcionar un proceso de tratamiento a los lodos a la vez que se pueden aprovechar residuos orgánicos que se produce en Tupiza y van al vertedero siendo una alternativa de aprovechamiento más completa el compostaje podría ser usado en :Almona, Angostura, Bolívar, Caracota, Casa Vieja, Charahota, Chillco A, Chocaya, Choroma, Entre Rios, Gallego, La Torre, Monte Rico, Oploca, Oro Ingenio, Palala Alta, Palala Baja, Pilquiza, Salo, San Jose de Hornos, San Miguel, Tambillo Alto, Tambillo Bajo, Torre Chica, Torre Wayco, Villa Providencia, Yurcuma. Estos lodos deberán estar en las categorías A o B de la norma colombiana tomada como referencia.

5. RECOMENDACIONES

Los pasos a seguir para este estudio son: tomar como referencia el marco normativo sugerido sobre el uso de lodos de PTAR para que realice una propuesta normativa municipal en la cuenca Tupiza, siempre y cuando se tengan en cuenta las condiciones de la región y en específico restricciones en el contenido de algunos elementos químicos en el lodo para su uso, ya que dependiendo de las actividades que se desarrollan en la región algunos elementos químicos metales van a estar en mayor cantidad que otros.

Es fundamental para próximas investigaciones en Tupiza hacer un estudio con parcelas demostrativas evaluando la incorporación de lodo solo y el lodo compostado en cultivos de ciclo corto y largo en Tupiza, como también realizar un estudio de impacto ambiental del uso de lodos en la región.

En relación con lo anterior y considerando el potencial económico del uso del lodo como abono se recomienda hacer un estudio económico del costo de transformación de lodo, comercialización y transporte.

Además de los usos mencionados en el trabajo de investigación se pueden pensar en otro uso que beneficien a las comunidades que habitan la cuenca, por ejemplo, el uso de lodos para recuperación de suelos degradados ya que en la cuenca se encuentran suelos con erosión hídrica y eólica.

Es indispensable incorporar en la interoperabilidad de WEAP+ REVAMP el proceso de remoción de químicos metales y remoción de coliformes para poder hacer un análisis más completo con respecto a la recuperación de recursos del saneamiento

6. BIBLIOGRAFIA

ALAMANOS, A., LATINOPOULOS, D., XENARIOS, S., TZIATZIOS, G., MYLOPOULOS, N. & LOUKAS, A. Combining hydro-economic and water quality modeling for optimal management of a degraded watershed', *Journal of Hydroinformatics*. P. 1118-1129. 2019.

AMORENA, A., GARBISU, C., URRRA, J & BLÁZQUEZ, S. Aplicación de lodos en agricultura impacto sobre la salud del suelo. España. 2017

ANDERSSON, K., ROSEMARIN, A., LAMIZANA, B., KVARNSTRÖM, E., MCCONVILLE, J., SEIDU, R., DICKIN, S. Y TRIMMER, C. Saneamiento, gestión de aguas residuales y sostenibilidad: de la eliminación de residuos a la recuperación de recursos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente e Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo. 2016.

ANDRADE, I & SOLÓRZANO, D. Aprovechamiento de lodos de la planta de aguas residuales del cantón el Carmen como biosólidos para el sector forestal. Ecuador. 2021.

ARMIJO C & C-CONSTRUCTOR Y CONSTRUCCIÓN. Informe consultoría Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza. 2021.

BANCO MUNDIAL. Propuesta para La Gestión de Lodos fecales En zonas periurbanas de Bolivia. 2018. p.06. [En línea]. [Citado el 5 de octubre del 2020]. Disponible en línea: <http://documents1.worldbank.org/curated/ar/263241563798184716/pdf/Estrategia-de-Comunicaci%C3%B3n-para-la-Iniciativa-Piloto-para-la-Gesti%C3%B3n-de-Lodos-Fecales-Domiciliarios-en-la-Ciudad-de-Santa-Cruz.pdf>.

BANCO MUNDIAL. Propuesta para La Gestión de Lodos fecales En zonas periurbanas de Bolivia., p.4. 2012. [En línea]. [Citado el 5 de octubre del 2020]. Disponible en línea: <http://documents1.worldbank.org/curated/ar/263241563798184716/pdf/Estrategia-de-Comunicaci%C3%B3n-para-la-Iniciativa-Piloto-para-la-Gesti%C3%B3n-de-Lodos-Fecales-Domiciliarios-en-la-Ciudad-de-Santa-Cruz.pdf>

BANCO MUNDIAL. Diseño de una iniciativa piloto para la gestión de lodos fecales domiciliarios en áreas periurbanas de la ciudad de Santa Cruz – Bolivia, p. 3 – 4. 2017. [En línea]. [Citado el 6 de octubre del 2020]. Disponible en línea: https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/lodos_feales._informe_final.pdf

CONCEJO MUNICIPAL DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA. Ley autonómica municipal gamsco no 1175 de 21 de agosto de 2019. Bolivia.

DDIBA, D, ANDERSSON, K. & ROSEMARIN, A. Towards more sustainable urban waste management and sanitation systems: a decision-support tool for estimating resource recovery potential. P. 4. 2018.

DDIBA, D, ANDERSSON, K. & ROSEMARIN, A. Mapeo del valor de los recursos (REVAMP): una herramienta para evaluar el potencial de recuperación de recursos de las corrientes de residuos urbanos. Resumen de discusión. Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo. 2020. [En línea]. [Citado el 1 de octubre del 2020]. Disponible en línea: <https://www.sei.org/publications/revamp>.

DELGADO, M., LOBO, C., PLAZA, A., CAPUANO A., HERNANDO, G., PRIETO J., MIRALLES, R & VALERO, J. Efecto residual provocado por dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en un cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz en Madrid. 2015. Disponible en línea: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652016000200002

DULZAIDES, M & GÓMEZ, M. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. P.0.1. 2004. [En línea]. [Citado el 1 de noviembre del 2020]. Disponible en línea: <http://eprints.rclis.org/5013/1/analisis.pdf>

ENVIROLAB S.R.L. Informe Técnico del muestreo y análisis de aguas y lodos. Tupiza. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, principios y necesidades. Primera edición. Santiago de Chile. 2017. [En línea]. [Citado el 5 de octubre del 2020]. Disponible en línea: <http://www.fao.org/>

LEY 1333 del medio ambiente promulgada el 27 de abril de 1992, Bolivia.

LIMON. J. los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Guadalajara, Jalisco. P.11.2013 [En línea]. [Citado el 8 de octubre del 2020] Disponible en línea: http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf

HELVETAS SWISS INTERCOOPERATION. Diagnóstico de la Gestión de Agua y Saneamiento. Subcuenca de Tupiza: Municipios Tupiza y Atocha. Bolivia. 2020

MACIEL-TORRES, S. P., JACOBO-SALCEDO, M. DEL R., FIGUEROA-VIRAMONTES, U., PEDROZASANDOVAL, A., TREJOS-CALZADA, R., & LÓPEZ-ROMERO, L. L. Characterization of Biosolids for Agricultural Uses. *AGROFAZ*, 15(2), 49–58. 2015.

MANCIPE ARIAS, L. M.; TRIVIÑO RESTREPO, M. del P. Valoración de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiésel. *Revista ION*, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 71–79, 2018.

MARTÍNEZ, A., CASTILLO J., RODRÍGUEZ, V & FRANCISCO, O. Aprovechamiento de los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas en agricultura. 2020.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE AGUA. Elaboración del diagnóstico integral y formulación de la propuesta de lineamientos estratégicos e institucionales del plan director de la cuenca del río Tupiza. Bolivia.p.13 -14. 2018.

MONCADA, A, MOSQUERA, J, COLEONI, C, PÉREZ, F, & LIMA, N. Resource Recovery to River Basin Planning by linking WEAP and REVAMP Models. P. 1-2.2020.

MOSQUERA, J. WEAP-REVAMP User Guide. 2021.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Dec. 1287, 2014. Uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Colombia.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 330 de 2017, Colombia.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA. Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales (ENTAR). Primera edición. La Paz, Bolivia. 2020.

NAVARRO, S. Personal communication 26/2-2020. Tupiza. Citado por Johanna Burström. Sustainability assessment of potential wastewater treatment techniques in Tupiza, Bolivia. 2020.

PAIXÃO, J., GIULIANO G., CORAUCCI, B & TONETTI, A. Use of stabilization pond sludge in cultivation of roses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Brasil. 2013.

PINZÓN, A. & PINZÓN, S. Lodos generados en planta de tratamiento de aguas residuales el salitre Bogotá, como insumo para la producción de compost. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gestión de Proyectos. Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Facultad de Ingeniería. 2018.

SANTOS, J.L., ARAUJO, A.S.F., NUNES, L.A.P.L., OLIVEIRA, M.L.J. & MELO, W.J. Chromium, cadmium, nickel and lead in a tropical soil after three years of consecutive applications of composted tannery sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 40 .2018 [En línea]. [Citado el 6 de octubre del 2021] Disponible en línea: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212018000100302

SANTACOLOMA, S., BUITRAGO, M, COLORADO, K., SUARES, I., MARTINEZ, M & VILLEGAS, L. Uso agrícola de biosólidos generados en el tratamiento de agua residual de una industria de alimentos, vol. 29. 2020.

SAHA, S., SAHA, B. N., PATI, S., PAL, B., & HAZRA, G. C. Agricultural use of sewage sludge in India: benefits and potential risk of heavy metals contamination and remediation options – a review. *International Journal of Environmental Technology and Management*. 2017. [En línea]. [Citado el 1 de octubre del 2021] Disponible en línea: <https://www.inderscienceonline.com/author/Saha%2C+Sushanta>

SIEBER. J. WEAP: Evaluación y Planeación del Agua, 2020. [En línea]. [Citado el 8 de octubre del 2020]. Disponible en: línea:<https://www.sei.org/projects-and-tools/66olos/weap-evaluacion-y-planeacion-del-agua/#descripci%C3%B3n>

SINGH R.P., SINGH P., IBRAHIM M.H. & HASHIM R. Physicochemical and Microbial response. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018.

SIQUEIRA, D. P., BARROSO, D. G., & MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. *Revista Vértices*, 19(3), 171, 2018.

SuSanA Latinoamerica. Estudio de caso de proyectos de saneamiento sostenible – Servicio integral de recolección y tratamiento de lodos fecales en la Municipalidad de Alajuela, Costa Rica. 2020.

TORRI, S. I., CORRÊA, R. S., & RENELLA, G. Biosolid Application to Agricultural Land a Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review. *Pedosphere*, 27(1), 1–16, 2017.

ZABOTTO, R., ZUÑIGA, E., MACHUCA, L., BROETTO, F., TAVARES, A. & KANASHIRO, S. Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto – diagnóstico de investigación, vol.37, p. 1. 2019. [En línea]. [Citado el 7 de octubre del 2020]. Disponible en línea: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000200103

ANEXOS

Anexo A. Acta de socialización

Acta 001 de socialización del marco normativo para la cuenca Tupiza.

Objetivo: la presente acta tiene objetivo describir los resultados de la socialización e intercambio de ideas sobre la propuesta de marco normativo para el uso de lodos.

Participación

Fecha: 1 de julio del 2021	Hora: 6:30 pm
Participante	Cargo – entidad
Ronald Baldivieso Garrón	Presidente del directorio nacional de la Asociación Boliviana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
Jaime Condori	Socio ABIS La Paz.
Evel Álvarez	Socio ABIS La Paz
Ruddy Peredo	Socio ABIS
Rolando Mansilla	socio ABIS
Nilo Lima	Investigador asociado SEI
Rodrigo Álvarez	Oficial de proyecto – programa Bolivia WATCH - SEI
Jairo Mosquera	Consultor SEI
Melina Balderrama	Coordinadora programa Bolivia WATCH - SEI
Angelica Sánchez	Tesista SEI

Desarrollo de la reunión

Intervenciones:

La primera intervención fue de Jaime Condori y Evel Alvarez hablaron sobre la regulación ambiental de los servicios de aguas potable y saneamiento, instrumentos para el seguimiento regulatorio de las EPSA, problemáticas de saneamiento en Bolivia, resultados obtenidos indicadores de desempeño en la plataforma virtual de

PTAR, grados de calidad de aguas para aplicación de reúso (Tipos de reúso- calidad de aguas) y reúso para irrigación.

La segunda intervención se llevó a cabo por mi parte donde socialice la propuesta de marco normativo para el reúso de lodos de PTAR, en la que menciono que en Bolivia no se cuenta con una norma nacional que regule las características del lodo fecal doméstico ni los niveles de calidad a obtenerse en el tratamiento de acuerdo a la aptitud de uso de los lodos residuales y que la falta de parámetros estándar normados es uno de los factores para que las inversiones en tratamiento no consideren el reúso y más bien a la disposición final. También de menciono que la propuesta normativa se basa en definición de lodos residual, límite de concentración de metales pesados en los suelos en los que aplicara el lodo residual, límite de concentración de metales pesados en lodo residual y límite de carga microbiológica en lodos residuales y restricciones según categorías para de reúso de lodos.

Discusión

A partir de las intervenciones surgieron algunas preguntas, las que a continuación se les da respuesta:

¿Cuál es el estado actual del aprovechamiento y manejo de lodos? y ¿Cuál es el actual desarrollo de la normativa para el manejo de lodos?

La AAPS género un manual de gestión de lodos, pero la preocupación radica en la disposición final, es importante establecer el rol de cada institución en el control y seguimiento, en este caso el rol del municipio es fundamental para determinar la disposición final de estos y hasta ahora no se piensa en el aprovechamiento.

Hay 219 PTAR en Bolivia solo 59 plantas de tratamiento mandan información a la AAPS (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico) eso quiere decir que 56% no reportan datos. De 59 plantas que reportan datos solo el 24% hacen manejo de lodos, lo que significa que extraen el lodo de la PTAR y lo disponen de alguna manera así que no lo estabilizan, llegando a un manejo y aprovechamiento de lodos es precario en Bolivia.

No hay normativa clara de tratamiento de lodos ni disposición final. El BANCO MUNDIAL y la cooperación Alemana ha implementado una iniciativa piloto sobre gestión de lodos fecales en Santa Cruz, pero estos lodos fecales son extraídos de sistemas de saneamiento alternativo que vienen a ser tanques sépticos o similares que tienen otro grado estabilización el problema que se viene desarrollando en la

gestión es que no hay una norma clara de tratamiento de lodos ni disposición de lodos y no se ha podido cerrar el ciclo, muchas veces este lodo va a las PTAR, otro problema es en que no hay los recursos suficientes para hacer un tratamiento completo.

¿Cuáles son los desafíos? y ¿Cuáles deberían ser los siguientes pasos siguientes para avanzar en desarrollo de la normativa para el aprovechamiento y manejo de lodos?

Uno de los desafíos es que no hay ninguna PTAR que realice el tratamiento completo del lodo, ya que no se estabiliza el lodo. Otro desafío es que no se tiene claro la economía circular del tratamiento de lodos.

El siguiente paso es hablar con integrantes de IBNORCA para saber si por su parte se viene desarrollando normativa para la gestión y reusó de lodos.

Incluir a otros actores que puedan contribuir en temas competenciales para seguir trabajando en la normativa.

Conclusiones

- En Bolivia 160 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales no reportan datos a la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- El 24% de las EPSA realizaron manejo de lodos y 56% no reportan datos
- La mayor parte de las PTAR no realizan manejo ni gestión de lodos.
- En las PTAR de Bolivia no hay sistemas específicos para el tratamiento de lodos.
- El manejo de lodos se limita a retiro, secado a la intemperie disposición en predios de la PTAR o relleno sanitario.
- No hay manejo adecuado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales
- Muchas de las PTAR no hacen estabilización y hay desconocimiento de los procesos de estabilización de lodos.
- No hay norma clara de tratamiento de lodos ni disposición final.
- Es indispensable mejorar la parte técnica, análisis de competencias y financiamiento de gestión de lodos.

Anexo B. Lista de comunidades presentes en la cuenca

Comunidades de la cuenca	Datos presentes en el Censo Agropecuario 2013
Suma de Flores Palca	No está presente
Suma de Almona	Está presente
Suma de La Torre	Está presente
Suma de Salo	No está presente
Suma de Oro Ingenio	Está presente
Suma de San Jose de Hornos	Está presente
Suma de San Miguel	No está presente
Suma de Villa Providencia	Está presente
Suma de Oploca	Está presente
Suma de Charahota	Está presente
Suma de Caracota	Está presente
Suma de Casa Vieja	No está presente
Suma de Torre Chica	No está presente
Suma de Chorama	Está presente
Suma de Chocaya	Está presente
Suma de Monte Rico	Está presente
Suma de Tambillo Bajo	No está presente
Suma de Pilquiza	Está presente
Suma de Torre Wayco	Está presente
Suma de Escoriani	No está presente
Suma de Portugaleta	No está presente
Suma de Tatasi	No está presente
Suma de Chorro	No está presente
Suma de Vetillas	No está presente
Suma de San Vicente	No está presente
Suma de Chillco A	Está presente
Suma de Chillcobija	Está presente
Suma de Palala Alta	No está presente
Suma de Tupiza	No está presente
Suma de Yurcuma	No está presente
Suma de Chifloca	No está presente
Suma de Santa Elena	No está presente
Suma de Entre Rios	Está presente

Anexo C. Guía de entrevista para la caracterización de sistemas de producción agrícola en Tupiza

Preguntas:

- A. ¿Cómo está compuesto su núcleo familiar y que actividades realiza cada uno en la chacra?
- B. ¿Cuántas hectáreas de terreno tienes? ¿Qué cultivos producen en esos terrenos? ¿Podría describir el tipo, la forma y color del cultivo? ¿En qué mes se hace la siembra y la cosecha? ¿Tiene riego? ¿Usted usa algún tipo de abono o fertilizante? ¿De dónde? En caso de que sea producido por sus propios animales entonces sería sin costo. Ahora si compra ¿Cuál es el costo del abono o fertilizante? Si es abono natural de que tipo: bosta de llama, vacas, ovejas, chivos, etc. (imagino que la calidad del abono depende del tipo de bosta, quizás no también) ¿Cuántas toneladas o volquetadas o camiones de abono compra? ¿Cuántas arrobas de fertilizante? ¿Cuántas veces aplica el abono o fertilizante? ¿Antes de la siembra? ¿Durante el aporque? ¿Cada cuánto tiempo aplica el abono o fertilizante? ¿Cada año, cada dos años? ¿Cuántas veces lo aplica?
- C. ¿Qué utilidad le da a la producción que obtiene en su chacra? ¿Es para el consumo o para la venta? ¿Dónde vende su producción? ¿Quiénes compran su producción? ¿Cuál es la mayor dificultad que ha encontrado para venderla? ¿Considera que los precios de venta de las cosechas son justos? ¿La venta de la cosecha le genera ingresos constante mente?

Anexo D. Informe entregado por ENVIROLAB S.R.L sobre la caracterización de agua y lodos

Informe Técnico del Muestreo y Análisis de aguas y lodos



Descripción breve:

Informe técnico del muestreo compuesto y análisis de muestras procedentes de la PTAR y la red colectora principal de Tupiza en atención a convocatoria WATCH-04.

Nombre del Cliente:

Instituto Ambiental de Estocafina - SEI
Atn. Ing. Zoraida Cecilia Tapia Benítez

Dirección:

Calle Nataniel Aguirre N° 82 La Paz -
Bolivia

Procedencia:

PTAR - Tupiza; Red Colectora Tupiza



Potosí: Calle Melchor Oza N° 34 | Teléfono (+591 2) 26228388
Santa Cruz: Av. José Estenssoro N° 110 Of. 5 | Teléfono (+591 3) 33207377
info@envirolab.com.bo | www.envirolab.com.bo

1. Introducción

ENVIROLAB S.R.L. laboratorio legalmente establecido y acreditado¹, en respuesta al pedido del Instituto Ambiental de Estocolmo - SEI, presentó la solicitud para realizar la prestación del servicio de Monitoreo y Análisis de muestras compuestas de agua y lodo provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR de Tupiza.

De acuerdo a la planificación desarrollada por el SEI en colaboración con Watch-Bolivia en fecha 18 de marzo de 2021, se realizó la reunión de coordinación junto al personal de ENVIROLAB S.R.L. para dar inicio a las actividades de muestreo.

Se elaboró el Plan de Trabajo ajustado que contempla las directrices para llevar adelante las actividades de campo que consistió en medición de caudales cada 3 horas, la toma de muestras de agua y lodo y el análisis físicoquímico-bacteriológico de las mismas.

El presente informe detallará las tareas realizadas en campo, respecto la descripción de lugares de toma de muestras, a la medición de caudales, toma de muestras simples hasta su composición. Los trabajos de campo fueron realizados acorde al Plan de Trabajo con algunos inconvenientes en el transporte desde algunas plantas a los laboratorios de análisis.

2. Objetivo general

Describir los trabajos de campo y resultados de análisis de muestras compuestas de las aguas residuales de afluentes y puntos intermedios en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Tupiza.

2.1. Objetivos específicos

- Detallar la infraestructura de los puntos de toma de muestras.
- Describir los trabajos de medición de caudal y composición de muestras simples.
- Describir los equipos utilizados para la medición de parámetros in situ.
- Describir de los métodos de preservación de las muestras hasta su llegada a laboratorio
- Reporte de resultados de ensayo de las muestras simples y compuestas.

3. Descripción de trabajos de monitoreo

3.1. Ubicación y descripción de la infraestructura de los puntos de muestreo.

De acuerdo a la planificación realizada se hizo la toma de muestras en los siguientes puntos:

Código	COORDENADAS		Especificación del lugar
	Este	Norte	
AG-01	218399	7625037	Colector Villa Florida
AG-02	218895	7621795	Ingreso a PTAR
AG-03	219074	7621793	Rio Tupiza, 100 m antes de la PTAR
Lodo	218991	7621718	Laguna Facultativa I

¹ Acreditado por la Dirección Técnica de Acreditación DTA en la norma NIS ISO IEC 17025:2005, en los parámetros de Cobres, Cadmio, Hierro, Manganeso y Zinc en aguas naturales y efluentes industriales.

A continuación, presentamos una breve descripción de los métodos de ensayo para los parámetros solicitados:

Parámetro	Unidad	Método/ Norma	Breve descripción del método
Conductividad	µS/cm	ASTM D 1125-05	Este método de ensayo se aplica para la determinación de Conductividad Eléctrica, Salinidad y Resistividad en muestras de aguas naturales, y efluentes industriales. ⬢ Conductividad: de 0,01 µS/cm a 1000 mS/cm ⬢ Salinidad: de 0,00 a 80 psu ⬢ Resistividad: de 0,00 a 20.00 MQ-Cm
pH, temperatura	Esc. pH, °C	ASTM D 1293-99	Este procedimiento aplica a la determinación de pH en muestras de agua naturales y de efluentes industriales en un rango de 0.01 a 14
DBO ₅	mg/l	ASTM 5210 B	Método que determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un período de incubación de 5 días a 20°C.
DQO	mg/l	Colorimetría SM 5220 - D	Método aplicable a la determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas naturales y residuales domésticos e industriales, cuyos contenidos se encuentren entre 3,00 mg/l a 1.500 mg/l. Si la muestra tiene contenidos mayores de analito, esta debe ser diluida.
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	Fotometría	La determinación de sólidos suspendidos totales en muestras de agua naturales y de efluentes industriales en un rango de 1.00 a 750 mg/l.
Nitrógeno Total	mg/l	ASTM D 3590-02A	El método para la determinación de nitrógeno total consta de tres etapas: DIGESTIÓN - DESTILACIÓN - TITULACIÓN.
Fósforo total	mg/l	Fotometría	Se emplea el método fotométrico que comprende dos etapas: digestión y determinación espectrofotométrica.
Amonio como nitrógeno	mg/l	ASTM D 1436-03	Método de prueba cubren la determinación de nitrógeno amoniacal, excluido el nitrógeno orgánico, en aguas.
Aceites y grasas	mg/l	EPA 1664 A	El método 1664 es un método basado en el rendimiento aplicable a matrices acuosas que requiere el uso de n-hexano como disolvente de extracción y gravimetría como técnica determinante.
Coliformes fecales	NMP/100ml	Tubos Múltiples SM 9221 E	Esta norma establece el procedimiento para el cultivo, identificación y recuento de bacterias Coliformes totales y coliformes termoresistentes. Aplicable a muestras procedentes de: ⬢ Aguas de residuo doméstico o industriales. ⬢ Aguas de Pozo. ⬢ Aguas de lagunas. ⬢ Aguas de deslagas.



Parámetro	Unidad	Método/ Norma	Breve descripción del método
			 y acuíferos. La densidad de coliformes se expresa como NMP de coliformes por 100 ml. y se encuentra entre 2.00 cols/100ml. a $\geq$ 2400 cols/100ml. Si la muestra tiene contenidos mayores de bacterias, esta debe ser diluida y procede un nuevo procedimiento de diluciones decimales.
Escherichia Coli	UFC/ 100ml	Membrana Filtrante	Método de filtración por membrana que determina Escherichia Coli por detección y recuento de bacteria.
Nitratos y Nítritos	mg/l	ASTM D 992	Este método de ensayo aplica para la determinación de Nitratos y Nítritos por el Método Espectrofotométrico en Aguas Naturales y Efluentes Industriales. Nitratos: de 0,10 mg/L a 10,0 mg/L Nítritos: de 0,002 mg/L a 0,300 mg/L
Sulfatos	mg/l	SM 4500 – A	Método que determinar la cantidad del contenido de sulfatos en muestras de agua naturales y efluentes industriales y en suelos.
Cianuro Libre	mg/l	ASTM D 2036-96	Método que determinar la cantidad del contenido de cianuro libre, total en muestras de agua naturales y efluentes industriales, calas por el Método fotométrico- Hach DR/3900 Método 8027 Reactivo en polvo - Método pyrazolone piridina y Standard Methods 4500-CN-C; ASTM D 2036-96.
Densidad de la muestra a 25°C	g/cm ³	Gavimetría	Esta norma es aplicable a la determinación del peso específico – densidad de todo tipo de aguas y salmueras.
Dureza total	mg/l CaCO ₃	ASTM D 1126-02	Este método es aplicable para la determinación de la Dureza Total en todo tipo de aguas naturales, con excepción de aguas de mina y drenajes ácidos mineros e industriales. El contenido de dureza expresada como CaCO ₃ debe estar entre 20 mg/l y 200 mg/l (con tolerancia hasta 300 mg/l), para la valoración y el volumen de la alícuota se recomienda que esté entre 20 ml y 100 mL.
Cloruros	mg/l	ASTM D 512-04B	El método es aplicable a la determinación del ion cloruro por valoración de nitrato de plata, en todo tipo de calidad de aguas
Metales para aguas	mg/l	PROC-TC-012 PROC-TC-013 PROC-TC-014 PROC-TC-015 PROC-TC-016	Procedimiento para la determinación de: Cobre, Zinc, Hierro, Cadmio y Manganeso, en aguas naturales y efluentes industriales por espectrofotometría de Absorción Atómica en llama.
Análisis de Textura	%	Boyaucos	El método de hidrómetro de Boyaucos determina el contenido de: arcilla, limo y arena.



INFORME: 214b/21

Nº de colización: 023/2021 - Matriz: Agua



Escanee el código para verificar la autenticidad del informe

NOMBRE DEL CLIENTE: INSTITUTO AMBIENTAL DE ESTOCOLMO - SEI
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: Atr. Ing. Zoraida Cecilia Tapia Benítez
 Calle Natali Aguirre Nº 82 entre Calles 11B y 12
 La Paz - Bolivia.
PROCEDENCIA: PTAR Tupiza - Red Colectora Tupiza
FECHA EMISIÓN DE INFORME: viernes, 14 de mayo de 2021
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: lunes, 22 de marzo de 2021
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS: lunes, 22 de marzo de 2021
FECHA FINAL DE ENSAYOS: viernes, 14 de mayo de 2021

EQUIPO DE MUESTREO: Multiparamétrico HANNA, modelo HI 991300, código interno 288, fecha de certificado de calibración: 2021-02-01 (otorgado por IBMETRO).

MUESTREO POR:

Hernán Vargas Zeballos y José Antonio Calvety Ayllón. Técnicos de ENVIROLAB S.R.L.

COMENTARIOS DE MUESTREO:

El muestreo se realizó en conformidad y supervisión de la Ing. Pedro Guereca (responsable de Agua Sustentable)

COMENTARIOS DE ENSAYO:

Las muestras serán almacenadas por un lapso de 3 meses a partir de la fecha de recepción.

DATOS Y RESULTADOS:

		Código de ingreso a laboratorio:		214-1	214-2	214-3
IDENTIFICACIÓN DE ÍTEMS DE ENSAYO		Código del punto de muestreo:		AG-01	AG-02	AG-03
		Descripción de punto de muestreo:		Colector de aguas residuales Villa Florida	Ingreso a Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	100 m aguas arriba de la PTAR sobre el Río Tupiza
MUESTREO						
DATOS DE MUESTREO		UNIDAD	VALORES			
Fecha de muestreo		año-mes-día	2021-03-19			
Hora de muestreo		hh:mm	06:37			
Coordenadas del punto		UTM	218399 E; 7625037 N			
Temperatura ambiente		°C	9,0			
pH in situ		Esc. pH	7,93			
Temperatura in situ		°C	15,2			
Conductividad in situ		µS/cm	1911			
Tipo de muestreo		Según PROC-MAG-001	Compuesto			
TIPO Y VOLUMEN DE ENVASE		FILTRACIÓN	PRESERVACIÓN/CONSERVACIÓN	CANTIDAD DE ENVASES		
1 L de plástico		Ninguna	Primer uso, conservado a < 4 °C	2		
250 ml plástico		Ninguna	Primer uso, conservado a < 4 °C	1		
OBSERVACIONES DE MONITOREO:						
Estado del tiempo			Despejado	Despejado	Despejado	
Partículas suspendidas			Alta	Alta	Media	
Turbiedad			Alta	Alta	-	
Espuma			No	No	No	
Aceites			No	No	No	
Olor			Fétido	Fétido	-	
Color			Grn	Grn	Beige	
Fauna en el agua			No	No	No	
Flora en el agua			No	No	No	
Residuos sólidos			No	No	No	
Fauna en el entorno			Aves	Aves	Aves	
Flora en el entorno			Mala	Mala	Mala	
Otras			-	-	-	
Estado de la muestra en recepción del laboratorio			Adecuada	Adecuada	Adecuada	
ENSAYO						
PARÁMETROS	UNIDAD	L.C.*	Método/ Norma	LP.*	RESULTADOS	
pH	Esc. pH	0,01	ASTM D 1293-99	-	7,265	8,032
Temperatura	°C	± 0,01	-	-	16,4	16,2
Conductividad	µS/cm	10,0	ASTM D 1125-95	-	2363	1461
Química libre	mg/l	0,004	ASTM D 2036-96	-	<0,004	<0,004
Sólidos suspendidos T	mg/l	1,00	Fotometría	-	222	61,0
Sólidos	mg/l	3,00	SM 5220 - D	-	335	24,0
Sólidos	mg/l	5,0	ASTM 5210 B	-	218	15,6
Sólidos	mg/l	0,05	ASTM D 3559-02A	-	<0,05	<0,05
Nitrito	mg/l	0,002	ASTM D 2972-03B	-	<0,002	<0,002
Nitrito	mg/l	0,002	ASTM D 3897-02	-	<0,002	<0,002
Sulfatos	mg/l	2,00	SM 4500 - A	-	500	500
Coliformes fecales**	NMP/100ml	2,00	SM 9221 E	-	150x10 ³	1500
Aceites y Grasas	mg/l	0,30	EPA 1664 A	-	0,9	0,7
Sólidos Totales	mg/l CaCO3	4,00	ASTM D 1126-02	-	636	529
Nitratos	mg/l	0,10	ASTM D 992	-	12,7	0,300
Nitratos	mg/l	0,002	ASTM D 992	-	<0,002	<0,002
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	5,0	STM 2540 C	-	1321	1058
Sólidos	mg/l	1,50	ASTM D 512-04B	-	123	88,3
Sólidos	mg/l	0,005	USGS 1-1230-85	-	<0,005	<0,005
Sólidos	mg/l	0,03	ASTM D 3561-02	-	118	65,6
Sólidos	mg/l	0,03	ASTM D 4192-02	-	30,1	5,88

INFORME: 214b/21

N° de colización: 023/2021 - Matriz: Agua



Escaneen el código para verificar la autenticidad del informe

ENSAYO							
PARÁMETROS	UNIDAD	L.C.*	Método/ Norma	L.P.*	RESULTADOS		
Boro	mg/l	0.01	SN 38405 T 17 mod	-	1,70	2,00	3,80
Sulfuros	mg/l	0.003	SM 4500 - D	-	0,25	0,19	0,08
Sólidos Suspensidos Volátiles®	mg/l	1,00	DIN 38409 T2	-	163	139	105
Fosfato®	mg/l	0.04	EPA 300.1	-	5,39	3,54	0,04
Salinidad	mg/l	10,0	Potenciometría	-	1220	1060	730
N-Amónico®	mg/l	0.05	ASTM D 1426-03	-	13,4	19,8	0,38
Fosforo Total®	mg/l	0.01	EPA 365.2	-	5,64	3,67	0,06
Parásitos ®	UFC/100 ml	Ausencia	Sedimentación	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Huevo de Helmitos®	UFC/100 ml	Ausencia	Varios	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Nitrógeno Total®	mg/l	0.10	ASTM D 3590-02A	-	50,5	33,0	97,4

* L.C.: Límite de cuantificación. ®Parámetro tercerado. L.P.: Límite permisible.

DATOS REVISADOS POR:

Hernán Vargas Zeballos-Supervisor Monitoreo y Cinlia Patricia Sánchez Llanos-Supervisor de laboratorio.

INFORME AUTORIZADO POR:

Nota: Este informe reemplaza al informe 214 emitido en fecha 2021-04-29


Julia Eugenia Yaque Gómez
JEFE DE MONITOREO


Tania Nancy López Mamani
JEFE LABORATORIO
• FIN DEL DOCUMENTO •


Aldo Mercado Gutiérrez
GERENTE ENVIROLAB S.R.L.



Escanee el código para verificar la autenticidad del informe

INFORME: 215a/21

N° de colización: 023/2021 - Matriz: Lodo

NOMBRE DEL CLIENTE: INSTITUTO AMBIENTAL DE ESTOCOLMO - SE
 Atn. Ing. Zoraida Cecilia Tapia Benítez
DIRECCIÓN DEL CLIENTE: Calle Nataniel Aguirre N° 82 entre Calles 11B y 12
 La Paz - Bolivia.
PROCEDENCIA: PTAR Tupiza - Red Colectora Tupiza
FECHA EMISIÓN DE INFORME: viernes, 14 de mayo de 2021
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: lunes, 22 de marzo de 2021
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS: lunes, 22 de marzo de 2021
FECHA FINAL DE ENSAYOS: jueves, 22 de abril de 2021
EQUIPO DE MUESTREO: Multiparamétrico HANNA, modelo HI 991300, código interno 284, fecha de certificado de calibración: 2021-02-01 (otorgado por IBMETRO).

MUESTREO POR: Hernán Vargas Zeballos y José Antonio Calvethy Aylón, Técnicos de ENVIROLAB S.R.L.

COMENTARIOS DE MUESTREO: El muestreo se realizó en conformidad y supervisión de la Ing. Pedro Guereca (responsable de Agua Sustentable)

COMENTARIOS DE ENSAYO: Las muestras serán almacenadas por un lapso de 3 meses a partir de la fecha de recepción.
 El procedimiento de preparación y muestreo del objeto de ensayo se realizó de acuerdo al SOP1-Preparación -01, pulverizado a -200#

DATOS Y RESULTADOS:

IDENTIFICACIÓN DE ÍTEMS DE ENSAYO		Código de ingreso a laboratorio: Código del punto de muestreo: Descripción de punto de muestreo:		215-1 LODO Laguna facultativa I	
MUESTREO					
DATOS DE MUESTREO		UNIDAD	VALORES		
Fecha de muestreo		año-mes-día	2021-03-22		
Hora de muestreo		hh:mm	09:33		
Coordenadas del punto		UTM	218991 E 7621718 N		
Temperatura ambiente		°C	14,0		
Tipo de muestra		Según PROC-MAG-001	Composita		
TIPO Y VOLUMEN DE ENVASE	FILTRACIÓN	PRESERVACIÓN/CONSERVACIÓN	CANTIDAD DE ENVASES		
1 L. Plástico	Ninguna	Primer uso, conservado a < 4 °C	2		
OBSERVACIONES DE MONITOREO:					
Estado del tiempo			Despejado		
Espuma			No		
Aceleros			Fértil		
Olor			Negro		
Color			-		
Textura			Papel		
Residuos sólidos			Avist		
Fauna en el entorno			Nadie		
Rota en el entorno			Humedad alta		
Otros			Adecuada		
Estado de la muestra en recepción del laboratorio					
ENSAYO					
PARÁMETROS	UNIDAD	LC.*	Método/ Norma	LP.*	RESULTADOS
EN MUESTRA ORIGINAL					
pH 1:2 a Temp. = 18,6°C	Esc. pH	0,01	EPA 9045 C (SW-846)	-	7,104
Densidad de la muestra a 25°C	g/cm³	-	Gavimetría	-	1,035
Densidad de solución a 25°C	g/cm³	-	Gavimetría	-	0,945
Porcentaje de sólidos	%	-	-	-	10,9
EN LA FASE LÍQUIDA DE LA MUESTRA					
Cobre	mg/l	0,023	PROC-TC-012	-	<0,023
Cadmio	mg/l	0,017	PROC-TC-013	-	<0,017
Zinc	mg/l	0,038	PROC-TC-014	-	<0,038
Hierro	mg/l	0,027	PROC-TC-015	-	0,623
Manganeso	mg/l	0,027	PROC-TC-016	-	0,529
Plomo	mg/l	0,05	ASTM D 3559-02A	-	<0,05
Arsénico®	mg/l	0,002	ASTM D 2972-03B	-	<0,002
Antimonio®	mg/l	0,002	ASTM D 3697-02	-	<0,002
Fósforo Total®	mg/l	0,01	EPA 365.2	-	26,9
Potasio	mg/l	0,03	ASTM D 4192-02	-	28,8
Calcio	mg/l	0,30	SM 3500 - D	-	39,2
Cromo +6	mg/l	0,01	USGS I-1230-85	-	<0,005
Boro	mg/l	0,01	DIN 38405 T 17 mod.	-	4,50
Coliformes totales**	NMP/100ml	3,00	SM 9221 B	-	460x10³
Coliformes fecales**	NMP/100ml	3,00	SM 9221 E	-	75x10³
Echerichia Coli®	UFC/100 ml	0,0	Filtración Membrana	-	9000
Parásitos®	UFC/100 ml	0,0	Sedimentación	-	2
Huevo de Helmitos®	UFC/100 ml	0,0	Varías	-	Ascaris Lumbricoides

INFORME: 215a/21



Escanee el código para verificar la autenticidad del informe

ENSAYO					
PARÁMETROS	UNIDAD	LC.*	Método/ Norma	LP.*	RESULTADOS
EN LA FASE SÓLIDA DE LA MUESTRA					
Cobre	%	0.001	Methodos EPA	-	0.005
Cadmio	%	0.001	Methodos EPA	-	<0.001
Zinc	%	0.002	Methodos EPA	-	0.057
Hierro	%	0.001	Methodos EPA	-	2.79
Manganeso	%	0.001	Methodos EPA	-	0.031
Plomo	%	0.002	Methodos EPA	-	0.005
Arsénico®	%	0.001	Methodos EPA	-	<0.001
Antimonio®	%	0.001	Methodos EPA	-	<0.001
Carbón Orgánico Total®	%	-	Calcinación	-	6.10
N-Amónico®	mg/kg	0.05	Fotométrico	-	195
Nitrógeno®	%	0.05	ASTM D 3590-02A	-	1.21
ANÁLISIS TEXTURAL					
Arena®	%	-	Boyaucos	-	58.26
Limo®	%	-	Boyaucos	-	39.74
Arcilla®	%	-	Boyaucos	-	2.00
Clasificación Textural®	-	-	-	-	Franco Arenoso

*L.C.: Límite de cuantificación. L.P.: Límite permisible. ®: Método reconocido. **Método de número más probable.

DATOS REVISADOS POR:

Cintia Patricia Sánchez Llanos-Supervisor de laboratorio.

INFORME AUTORIZADO POR:

Nota: Este informe reemplaza al informe 215 emitido en fecha 2021-04-22


Julia Eugenia Cárdenas Gómez
JEFE DE MONITOREO


Tania Wendi López Marmá
• FIRMEL DOCUMENTO •


Aldo Mercado Gutiérrez
GERENTE ENVIROLAB S.R.L.