

INTRODUCCION

I. Antecedentes

I.I Generalidades

En las culturas prehispánicas la limpieza de las calles y demás áreas públicas era como una actividad diaria de las personas. En Tenochtitlán cerca de mil personas recogían la basura, los tiraderos se ubicaban en tierras pantanosas, la basura se utilizaba para iluminar la ciudad y la materia séptica y excretas se utilizaba como abono (Tello Espinoza, Campani, & Rosalba Sarafian, 2018).

Así se inicia la gestión de los residuos sólidos en la América Latina. La conquista y la colonia incorporaron los usos y costumbres de la Europa de la época. A través del tiempo las prácticas de entrega, recolección y transporte no variaron en su concepto fundamental sino únicamente en el uso de equipo. La gran transformación se logra con el manejo en la disposición final al eliminar los humeantes vertederos por rellenos sanitarios. Esto sucedió en la segunda mitad del siglo XX, es decir, casi 500 años después de la llegada de los conquistadores (Tello Espinoza, Campani, & Rosalba Sarafian, 2018, pág. 2).

En el año 1940 se empieza a emplear el relleno sanitario en Estados Unidos para darle una solución a la disposición final a los residuos sólidos generados en las bases militares durante la Segunda Guerra Mundial, rellenar terrenos con residuos de una manera sanitaria. A fines de 1945, ya había 100 ciudades que utilizaban el método y en 1960 ya lo realizaban 1 400 ciudades (Tello Espinoza, Campani, & Rosalba Sarafian, 2018).

A principios del año 1960, el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos (USPHS) presiona para la creación de un necesario soporte técnico, profesional y político para pasar la legislación nacional de residuos sólidos. Esta nueva visión se logra en 1965 cuando el congreso aprueba el Acta de la Disposición de los Residuos Sólidos. Se había creado un movimiento nacional para la gestión de los residuos sólidos en base a la prohibición de la quema de residuos y comenzaban los años dorados de la USPHS (Tello Espinoza, Campani, & Rosalba Sarafian, 2018).

El interés que despierta el nuevo enfoque y gestión de los residuos sólidos en los Estados Unidos alienta a los gobiernos latinoamericanos a considerar esta iniciativa como necesaria para proteger la salud pública.

En el caso de América Latina y el Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final” dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada. En muchos países de la región se utilizan los vertederos y/o botaderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas; se

continúa con la práctica de recolección sin clasificación y/o separación de los desechos desde el origen; existe un enorme número de segregadores trabajando en las calles y en los vertederos, buscando sobrevivir del aprovechamiento de materiales reciclables a pesar del riesgo a que exponen su salud e integridad física, unido esto a la deficiencia en la administración tanto pública como privada del sector son aspectos que revelan la crisis que presenta en la región el manejo de residuos sólidos. (Saez & Urdaneta, 2014, pág. 122)

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, viene empeorando debido al gran crecimiento de la población y concentración en las áreas urbanas, del desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y mejor nivel de vida, así como también debido a otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales (Saez & Urdaneta, 2014, pág. 122).

En Bolivia se generan 4 782 ton de basura al día, cantidad que representa 1 745 430 ton al año y de los 337 municipios que existen en el país, 298 (90.8%) disponen sus residuos en botaderos a cielo abierto, terrenos baldíos, calles, quebradas y en otros casos simplemente se queman a cielo abierto, en todos estos casos el manejo de residuos carece de control y manejo adecuado.

La entidad encargada del aseo urbano en la ciudad de Tarija es la Entidad Municipal de Aseo de Tarija (EMAT) la cual fue creada en 1993 y empezó a operar desde el año 1995 gracias a los recursos del Banco Interamericano de Desarrollo y de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), dirigido a través del Fondo Nacional de Desarrollo Rural (FNDR).

Antes de su creación, el barrido y la limpieza se circunscribían únicamente al centro de la ciudad. Contaba con 50 personas, un bajo rendimiento, sin supervisión ni planificación del servicio, dando lugar a que las tareas asignadas no se cumplieran en el tiempo establecido. Apenas un 24% de la población, contaba con servicio de recojo de basura. (Paz Balderrama & Blanco, 2009, pág. 88)

Figura 1-1: Aseo y disposición final de residuos sólidos antes de la creación de EMAT



Fuente: EMAT, 2009

En esos tiempos como era algo nuevo recolectar y sacar la basura que uno generaba y dejarla en un lugar determinado. Entre el año 1995 y 2000 se le dio a la población una educación acerca del carro basurero y cuál era su función.

A partir del 2005, con el apoyo del Viceministerio de Servicios Básicos, se empezó a trabajar en una estrategia municipal de gestión integral de residuos sólidos, priorizando y fortaleciendo cuatro pilares fundamentales: el área institucional, el área económica financiera, el área técnico – operativa y el área de participación social.

I.II Conceptualización del problema a resolver

El Relleno Sanitario de Tarija se encuentra ubicado en la zona de Pampa Galana, aproximadamente a 8 kilómetros del centro de la ciudad. Cuenta con la mayoría de las instalaciones más necesarias que estipula la Norma Boliviana NB 757. El sitio está emplazado en un área de 10.52 hectáreas, cuya formación geológica corresponde a una ladera erosionada y textura de suelo arcillosa. Las operaciones de vertido se iniciaron en 1995, con una capacidad volumétrica de almacenamiento de 745 233 m³. Hasta diciembre del año 2007 el volumen utilizado fue de 526 825 m³, a partir del 2010 se estimó que le restaban 5 años más de vida útil operando bajo condiciones de seguridad. (Gutierrez Ledezma & Limachi Mamani, 2011, pág. 46)

Debido a que ya pasaron 6 años desde que termino su vida útil, la Entidad Municipal de Aseo de Tarija está llevando a cabo un proyecto de un nuevo relleno sanitario en la comunidad de Laderas Norte que se prevé estará en funcionamiento en marzo de 2022, según el director de EMAT

Figura 1-2: Disposición final de residuos sólidos y hospitalarios



Fuente: EMAT, 2009

Figura 1-3: Capa formada por los residuos solidos



Fuente: Propia

Actualmente el relleno sanitario de Pampa Galana cuenta con un sistema de tratamiento para los lixiviados mediante recirculación realizado por un camión cisterna.

Lo que se hace en el relleno sanitario es almacenar los lixiviados en una laguna impermeabilizada que con el paso de los años se ha ido deteriorando, lo cual está generando un impacto ambiental en toda el área del relleno afectando al suelo, la vegetación y el agua (superficial y subterránea). Por lo que es necesario optimizar el tratamiento proponiendo una alternativa.

Figura 1-4: Laguna de almacenamiento de lixiviados



Fuente: Propia

Además, el sistema de drenaje de los lixiviados se encuentra a mucha profundidad, debido a las capas de residuos y de suelo ya formados con el paso de los años, lo que provoca que ya no circulen los lixiviados en su totalidad por las tuberías y existan fugas del lixiviado hacia la superficie.

Figura 1-5: Fuga de lixiviados



Fuente: Propia

Figura 1-6: Tubería del sistema de drenaje



Fuente: Propia

La siguiente tabla muestra un estudio que se hizo en el año 1998 acerca del crecimiento de generación de residuos sólidos en la ciudad de Tarija

Tabla I-1: Crecimiento de generación de residuos solidos

Año	Población (Hab.)	Aporte (kg/hab. día)	Residuos (ton/día)
1998	121 948	0.433	52.84
2000	133 239	0.439	58.49
2005	170 132	0.455	77.41
2010	217 240	0.472	102.54
2015	354 198	0.508	179.93
2025	452 271	0.527	238.35
2030	577 501	0.546	315.32
2035	737 404	0.567	418.11

Fuente: (Hernandez Rossie & Echeverria, 2001)

La producción per cápita de la ciudad de Tarija se encuentra dentro del índice mayor del departamento, con una generación de residuos sólidos de 0.52 kg/habitante día. Según el censo del 2012 la ciudad de Tarija cuenta con 212 856 habitantes, si hacemos una aproximación al año 2021 estaría con una población de 261 375 habitantes y si lo multiplicamos con la producción per cápita, la ciudad de Tarija estaría produciendo 136 toneladas al día de residuos sólidos.

II. Objetivos

II.I Objetivo general

- Optimizar el sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Pampa Galana.

II.II Objetivos específicos

- Describir el sistema de tratamiento de lixiviados que se tiene actualmente en el relleno sanitario de Pampa Galana.
- Realizar un diagnóstico de los lixiviados generados en el relleno sanitario.
- Identificar, analizar y valorar el problema producido por el sistema de tratamiento empleado.
- Describir las alternativas de solución al problema.
- Identificar y caracterizar el método mediante lagunas de estabilización que mitigará el problema identificado.
- Realizar el balance hídrico de las lagunas de estabilización.
- Realizar un análisis económico para evaluar los costos del proyecto.

III. Justificación

III.I Económica

Con la optimización mediante lagunas de estabilización no se generarían gastos para el funcionamiento del proceso, ya que no requiere de ninguna maquinaria o equipos ni de alguna fuente de energía para ejecutar el tratamiento de los lixiviados, el transporte del fluido es realizado por la diferencia de altura entre cada laguna.

Por otra parte, en caso de que el agua tratada cumpla con los parámetros permisibles por la ley 1333, podría ser utilizada en diferentes áreas de uso (riego de cultivos, espacios verdes, agricultura, etc.).

III.II Tecnológica

El sistema de almacenamiento y tratamiento de lixiviados dentro del relleno con el paso del tiempo se ha deteriorado por lo que es necesario un mejoramiento en cuanto al sistema de tratamiento, proponiendo diferentes alternativas que puedan dar una solución.

Al proponer un nuevo tratamiento brindaría cierta tranquilidad a la población al saber que el relleno sanitario que se tiene es apto para darle un tratamiento que evite el impacto ambiental y un impacto en las personas que viven en la comunidad de Pampa Galana, y también en los trabajadores que se encuentran dentro del relleno sanitario.

En el sector donde se almacenan los lixiviados se observan afloramientos de estos líquidos que son acumulados en una trinchera sin infraestructura e impermeabilización requerida.

III.III Social

Al darle un tratamiento adecuado a los lixiviados generados por los residuos sólidos mejoraría la calidad de vida de las familias que habitan en la comunidad de Pampa Galana ya que evitaría la emanación de malos olores provenientes del relleno los cuales son perjudiciales para su salud y las protestas y paros que últimamente estaban realizando las personas debido a que todavía no se le dio una solución a este problema.

III.IV Ambiental

Si bien el relleno sanitario cuenta con la mayoría de las instalaciones básicas para su funcionamiento aún presenta limitaciones en el control de la contaminación de diferentes factores ambientales, tanto del suelo como del agua.

Con mejorar el tratamiento de lixiviados se podrá minimizar la contaminación debido a la fuga del lixiviado a la superficie del suelo que rodea a las capas de residuos, la contaminación del agua subterránea y superficial, ya que cerca del relleno sanitario se encuentra la quebrada San Pedro, y la contaminación del aire. Al mismo tiempo, intentar reducir los riesgos a la vegetación que existe en la zona de Pampa Galana.

La fuga de los lixiviados a la superficie está generando una degradación en el suelo lo cual puede provocar una erosión por toda la zona.

III.V Personal

El principal motivo personal por el cual se está llevando a cabo el presente proyecto es para poder graduarse de la carrera de ingeniera química.

Por otro lado, la motivación que se tuvo fue la de dar una solución a este problema que lleva más de 6 años vigente, ya que los años de vida útil del relleno sanitario culminó en el año 2015. Y así, de cierta forma concientizar a los demás en cuanto al impacto ambiental que se estuvo generando durante todos estos años debido a un deficiente sistema de tratamiento.

CAPÍTULO I: DESCRIPCION DE LA PLANTA

CAPÍTULO I: DESCRIPCION DE LA PLANTA

1.1 Materia prima

1.1.1 Residuo solido

Los residuos sólidos pueden definirse como materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó y que pueden ser objeto de tratamiento y disposición final. (Gutierrez Ledezma, 2012)

En si los residuos sólidos son aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general por sí solos ya no cuentan con un valor económico. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría podrían ser reutilizados o transformarse con un correcto reciclado. Los principales generadores de residuos sólidos somos los ciudadanos de las grandes ciudades.

1.1.2 Lixiviado

En todo relleno sanitario se generan lixiviados debido a las lluvias que se dan a lo largo del año o por la humedad que presentan algunos residuos sólidos, este proceso se da a través de un transporte o arrastre de materia orgánica en descomposición en los residuos sólidos y de la lixiviación de componentes desde el sólido al líquido. Este líquido es denominado lixiviado, el cual se lo puede definir como el líquido que ingresa al relleno sanitario mediante fuentes externas, ya sea por la lluvia o un drenaje superficial, se infiltra en los residuos sólidos y extrae o arrastra materiales suspendidos. Los lixiviados se pueden considerar como un tipo muy específico de agua residual los cuales están compuestos por una alta carga orgánica, compuestos orgánicos solubles y constituyentes inorgánicos.

Este residuo liquido genera un alto impacto ambiental tanto en el suelo como en aguas subterráneas, la composición de los lixiviados va variando en dependencia de la naturaleza de los residuos, características del suelo, patrones de lluvia y, mayormente, de la edad del relleno sanitario.

1.1.2.1 Características de los lixiviados

La composición de los lixiviados cambia constantemente, ya que depende de la edad del relleno sanitario, del tipo de residuos sólidos que se generan, de las condiciones climáticas, de la forma de operación del relleno sanitario, etc. (Cunha & Pereira, 2013).

Hay que considerar que una muestra tomada en un relleno sanitario involucra todas las fases de descomposición, ya que en una muestra de lixiviado tendremos lixiviado de residuos jóvenes hasta antiguos, debido a que un relleno sanitario presenta diferentes capas y edades (Cunha & Pereira, 2013).

A continuación, se presenta una tabla de las diferentes características que presentan los lixiviados en base a la edad del relleno sanitario. Se pueden observar la diferencia entre los valores de cada característica en rellenos sanitarios de cada edad.

Tabla I-2: Variación de la composición de lixiviados en base a la edad del relleno sanitario

Parámetros	Edad del relleno sanitario en años			
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	>20
DBO (mg/l)	10 000 – 25 000	1 000 – 4 000	50 – 1 000	<50
DQO (mg/l)	15 000 – 40 000	10 000 – 20 000	1 000 – 5 000	<1 000
pH	3 – 6	6 – 7	7 – 7.5	7.5
Calcio (mg/l)	2 000 – 4 000	5 000 – 2 000	300 – 500	<300
Sodio y Potasio (mg/l)	2 000 – 4 000	500 – 1 500	100 – 500	<300
Hierro y Magnesio (mg/l)	500 – 1 500	500 – 1 000	100 – 500	<100
Zinc (mg/l)	100 – 200	50 – 100	10 – 50	<10
Sulfato (mg/l)	500 – 2 000	200 – 1 000	50 – 200	<50
Fosforo (mg/l)	100 – 300	10 – 100	-	<10

Fuente: (Paulo Gomes, 2009)

Tabla I-3: Características del lixiviado generado en el relleno sanitario de Pampa Galana

Parámetro	Unidad	Resultado
DBO	mg/l	550
DQO	mg/l	767
pH		8.56
Solidos disueltos	mg/l	2090
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.1E+04

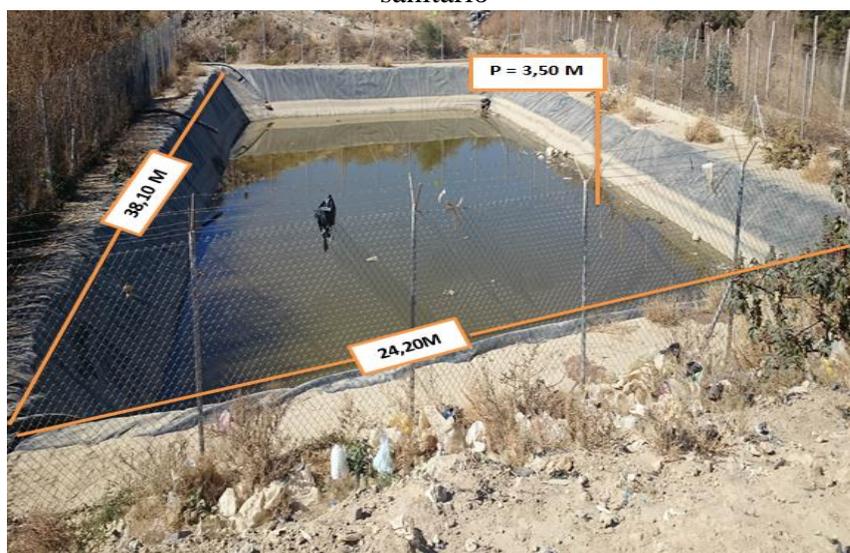
Fuente: (CEANID, COSAALT)

Tabla I-4: Diagnostico de la piscina de almacenamiento de lixiviados

Diagnostico			
Largo	38.1 m		
Ancho	24.2 m		
Área	922.02 m ²		
Profundidad	3.5 m		
Volumen	3227.07 m ³		
Caudal diario en diferentes partes del día	3.89 m ³ /día	3.84 m ³ /día	3.86 m ³ /día
Caudal diario promedio	3.87 m ³ /día		

Fuente: (EMAT)

Figura 1-7: Dimensiones de la piscina de almacenamiento de lixiviados en el relleno sanitario



Fuente: EMAT

Figura I-8: Medición del caudal diario



Fuente: Propia

1.1.2.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La materia orgánica requiere o demanda oxígeno para ser degradada en una masa de agua. El alto contenido orgánico ayuda a la generación de microorganismos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Los cambios que puede ocasionar en el agua son en su calidad y la posible elevación del pH (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de lixiviados es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, nos indica la cantidad de oxígeno que demandan o utilizan los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días (Navarro R., 2007).

1.1.2.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es el parámetro más crítico para el tratamiento de lixiviados. La DQO es considerada como la cantidad total de la reducción de materiales en muestras acuosas. Es conocido poco acerca de la contribución exacta de cada componente al total del valor de la DQO debido a la complejidad de los lixiviados de un relleno sanitario. Sin embargo, es necesario investigar la composición de la DQO en los lixiviados ya que puede ayudar a mejorar la comprensión de la distribución, comportamiento ambiental y destino de cada componente individual. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Las diferencias en los valores de DQO pueden deberse al diseño del relleno sanitario, la composición de los residuos sólidos, las características del sitio y la edad del relleno sanitario.

1.1.2.1.3 pH

El pH es una magnitud de mucha importancia en un sinnúmero de procesos biotecnológicos, como por ejemplo en la neutralización de desperdicios alimenticios. También ha cobrado gran relevancia en la minería y en el control de la contaminación, como es el caso de la neutralización de desechos industriales. (Amaya, Cañon, & Aviles, 2004)

El pH de un lixiviado va cambiando en base a la edad del lixiviado. El pH del lixiviado disminuye hasta 5 o menos debido a la presencia de ácidos orgánicos durante la fase ácida, y luego va aumentando hasta un valor de 8 durante la fase de maduración (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

1.1.2.1.4 Calcio

Un agua considerada dura tendría unos 100mg de calcio por litro de agua y alrededor de 50 mg de magnesio, según detalla la Organización Mundial de la Salud (OMS). Las dosis recomendadas para ambos minerales en la dieta diaria están estimadas en

1.000 miligramos de calcio y entre 200mg y 400mg de magnesio. Además, el peligro de una dosis elevada de calcio se encuentra en 2.500mg de calcio al día.

La OMS define la dureza como la medida de los iones metálicos polivalentes provenientes de rocas sedimentarias, filtraciones y desprendimientos del suelo. Dichos iones están en directa sintonía con la geomorfología de cada región. Debido a que en cada país suele existir una amplia variabilidad de la dureza del agua y por tanto de su aspecto y sabor. (BBVA, 2011)

1.1.2.1.5 Hierro

El hierro puede darle al agua un sabor, olor y color indeseable. La presencia de hierro hace que se obstruyan los tubos de cañerías, tanques de presión, calentadores de agua y equipo ablandador de agua. Estas obstrucciones restringen el flujo del agua y reducen la presión del agua.

El agua contaminada con hierro usualmente contiene bacterias de hierro, las cuales se alimentan de los minerales que hay en el agua. No causan problemas de salud, pero sí forman una baba rojiza-café. (McFarland & Dozier, 2004)

1.1.2.1.6 Zinc

El zinc se presenta de forma natural en el agua. La media de concentración de zinc presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb. Los ríos contienen generalmente entre 5 y 10 ppb de zinc. Las algas, entre 20 y 700 ppm, los peces de mar y las conchas 3-25 ppm, las ostras 100- 900 ppm y las langostas 7-50 ppm.

La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en cinc.

Los compuestos del zinc están presentes en fungicidas e insecticidas, y por lo tanto tarde o temprano van a parar al agua. Cuando se toman medidas de seguridad inadecuadas, el cinc puede liberarse como consecuencia de derrames en vertederos de desechos.

1.1.2.1.7 Sulfato

Los sulfatos en el agua se deben al contacto con terrenos ricos en yesos, también por la contaminación con aguas residuales industriales; el contenido de estos no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas de consumo humano, pero contenidos superiores a 300mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Los sulfatos de sodio y magnesio tienen una acción laxante en las personas por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo.

El ion sulfato es abundante en aguas naturales. Un amplio rango de concentraciones se encuentra presente en aguas lluvias y su determinación proporciona valiosa información respecto a la contaminación y a los fenómenos ambientales; adicionalmente, puede aportar datos acerca de la información de ácido sulfúrico

proveniente del dióxido de azufre presente en la atmósfera. (Severiche & Gonzalez, 2011)

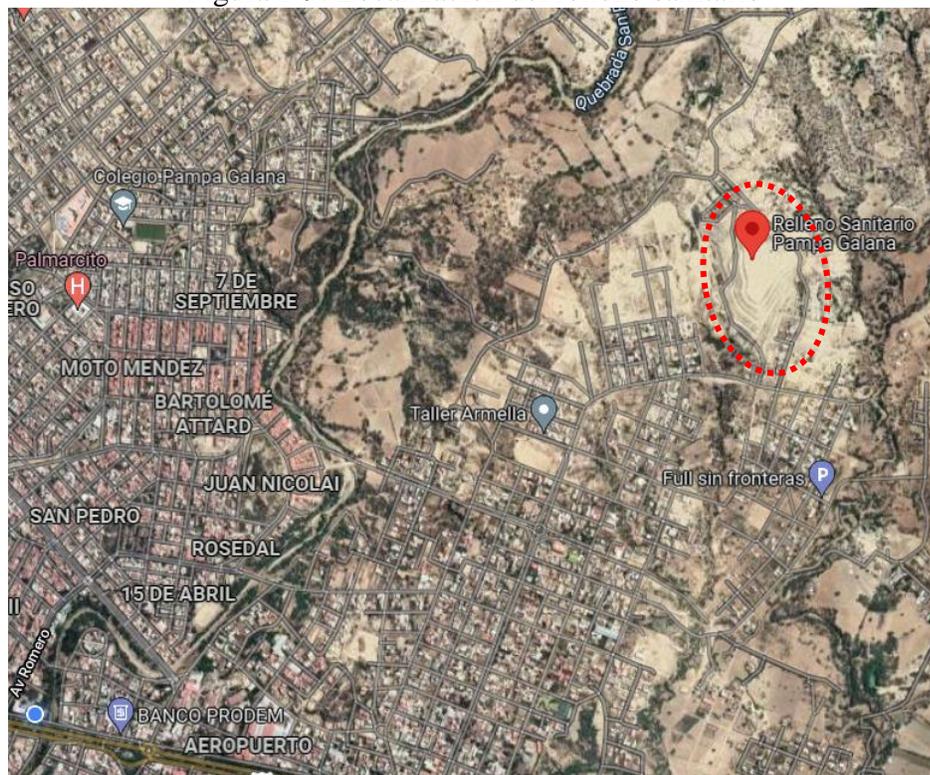
1.1.2.1.8 Fósforo

El fósforo es uno de los nutrientes que contribuyen en mayor grado a la eutrofización de lagos y aguas naturales. Su presencia causa muchos problemas en la calidad del agua incluyendo aumentos en los costes de purificación, la disminución del valor de recreación y de conservación del lagunaje, pérdida de las poblaciones naturales y un posible efecto mortal de las toxinas en las aguas potables.

1.2 Localización

El Relleno Sanitario del Municipio de Cercado se encuentra ubicado a 7 kilómetros del centro de la ciudad en la comunidad de Pampa Galana, el tipo de suelo en esta área cuenta con una clasificación ASSTHO A6 (altamente arcilloso) cuenta con una superficie 10.52 hectáreas de las cuales 9.02 hectáreas se encuentran ocupados con las macro celdas de residuos comunes, celda de residuos generados en establecimientos de salud y la piscina de almacenamiento de lixiviados.

Figura 1-9: Localización del relleno sanitario



Fuente: Google Maps

1.3 Operación y control

El método actual de tratamiento para los lixiviados que se tiene en el relleno sanitario es mediante recirculación.

1.3.1 Recirculación

El tratamiento mediante recirculación consiste en transportar al lixiviado al interior de la masa de residuos usando aspersores, camión cisterna o lechos de infiltración. Este proceso es recomendable para municipios con balance hídrico negativo, es decir, donde el índice de evaporación es mayor al de precipitación pluvial.

En este proceso, el efluente líquido va perdiendo su toxicidad (carga orgánica) por la aireación y por la acción biológica de los microorganismos presentes en la masa de residuos. Las dimensiones de la laguna de lixiviados, debe tener capacidad suficiente para almacenar una gran cantidad de este líquido, a fin de evitar que la bomba de recirculación se ponga en funcionamiento a intervalos muy cortos. Además, parte del efluente recirculado se evapora, por lo que es importante que las boquillas aspersores sean reguladas para trabajar como vaporizadores, a fin de aumentar la tasa de evaporación.

1.4 Eliminación de efluentes

El efluente a eliminar vendría a ser el lixiviado generado por el arrastre de materia orgánica en descomposición, de los residuos sólidos, debido al agua de lluvia. El tratamiento propuesto es el de lagunas de estabilización, que más adelante se determinara que método es el más adecuado mediante una matriz de comparación. De ser posible se le dará un uso al agua tratada, ya sea para riego en la agricultura o riego de vegetación de zonas públicas, en caso de que cumpla con los parámetros demandados para que pueda ser utilizada.

1.4.1 Medio receptor de efluentes

Uno de los receptores donde se desechan los lixiviados vendría a ser la única piscina de almacenamiento que se encuentra dentro del relleno sanitario

Figura 1-10: Vegetación dentro y fuera del relleno



Fuente: Propia

Figura 1-11: Malezas que crecen en las capas de suelo



Fuente: Propia

Otro receptor de lixiviados, y tal vez el más importante, sería la quebrada San Pedro que se encuentra cerca del relleno sanitario y, al igual que la vegetación, el agua de la quebrada se ve afectada por los lixiviados. Este vendría a ser el receptor más importante debido a que transporta el agua contaminada hacia el río Guadalquivir el cual es la principal fuente de agua para la ciudad de Tarija.

CAPITULO II: CONCEPCION Y DEFINICION DEL PROBLEMA

CAPITULO II: CONCEPCION Y DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

Los lixiviados generados por los residuos sólidos en el relleno sanitario de Pampa Galana cuentan con un tratamiento de recirculación el cual con el paso de los años se ha vuelto defectuoso ya que se puede observar como los lixiviados se encuentran en la superficie y deteriorando el suelo, por lo que se está produciendo un impacto ambiental tanto en el suelo como en el agua (superficial y subterránea). Por otra parte, existe una emanación de malos olores por parte de los lixiviados acumulados y/o los que están por la superficie lo que provoca una mala calidad de vida para las familias de la comunidad de Pampa Galana y un riesgo a la salud de los trabajadores del relleno sanitario.

Existen diferentes áreas de riesgo debido al deterioro del sistema de tratamiento de los lixiviados, el más predominante sería el suelo tanto dentro y fuera del relleno, como se dijo anteriormente existe emersión de lixiviados dentro del relleno y a pesar que cuentan con material impermeable en la piscina de almacenamiento, no cuentan con un canal por donde salga el agua de lluvia lo que significa que en los meses de mayor precipitación pluvial podrían generarse un desborde por el exceso de agua en la piscina de almacenamiento lo que arrastraría lixiviados por fuera del relleno.

Por otra parte, la quebrada de San Pedro también sería otra área de riesgo ya que por la infiltración de lixiviados que llega hasta el agua de la quebrada habría un arrastre de los mismos que llegarían hasta el río Guadalquivir lo que podría provocar enfermedades en la población, debido a que el río Guadalquivir es la principal fuente de abastecimiento de agua.

2.1.1 Contaminación del suelo

La descarga y acumulación de residuos en sitios periurbanos, urbanos o rurales producen impactos estéticos, malos olores y polvos irritantes. La disposición de residuos en un botadero a cielo abierto o en un sitio mal operado, contamina el suelo con microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas e hidrocarburos que están presentes en el lixiviado. (Gutierrez Ledezma, 2012, pág. 4)

Figura 2-1: Lixiviados en la superficie



Fuente: Propia

Figura 2-2: Suelo deteriorado



Fuente: Propia

Figura 2-3: Suelo deteriorado



Fuente: Propia

2.1.2 Contaminación del agua

La contaminación del agua es uno de los problemas más serios provocados por los sitios de disposición final de los residuos. El agua superficial se contamina por la basura que se desecha en ríos y quebradas. En los lugares donde se concentra basura penetran los líquidos llamados como lixiviados, que contaminan el agua del subsuelo de la que todos dependen. La descarga de la basura en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, también conlleva a la obstrucción del alcantarillado. En los periodos de lluvias, provoca inundaciones que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, lo que es más grave aún, de vidas humanas (Facultad de ciencias económicas y sociales, 2016).

2.2 Descripción de alternativas

2.2.1 Lagunas de estabilización

Una laguna de estabilización es, básicamente, una excavación en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de las algas y otros organismos.

Cuando los lixiviados son depositados en lagunas de estabilización, se desarrolla de manera natural un proceso de autodepuración o estabilización natural en el que ocurren fenómenos de tipo físico, químico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todos los lixiviados con alto contenido de materia orgánica biodegradable (Silva Burga, 2004).

La estabilización de la materia orgánica se lleva a cabo a través de la acción de organismos aerobios cuando hay oxígeno disuelto en el agua, y/o de organismos anaerobios cuando no hay oxígeno disuelto en la misma.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de los lixiviados en una laguna de estabilización y del efluente que se obtiene al final, es el dato preliminar para evaluar las condiciones de trabajo de las lagunas de estabilización y su comportamiento (Martínez Guillen & Guzmán Saenz, 2003).

En las lagunas de estabilización el efluente recibe un pulido final en una laguna, que tiene los mismos dimensionamientos de las dos anteriores, para luego darle una reutilización o transportar al interior del relleno donde están las capas de residuos sólidos.

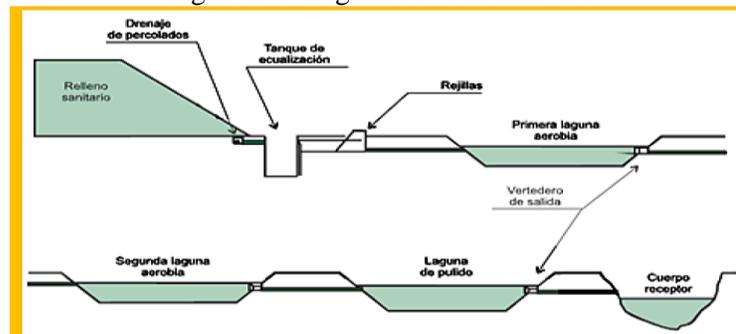
Dependiendo, de las condiciones del problema por resolver las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas.

Los factores que intervienen en el proceso de las lagunas de estabilización son:

- Físicos: temperatura, insolación, infiltración y evaporación, precipitación pluvial y vientos.

- Químicos: demanda bioquímica de oxígeno, pH, nutrientes, contaminantes resistentes.
- Biológicos: algas y bacterias.

Figura 2-4: Laguna de estabilización



Fuente: (Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, 2012)

2.2.1.1 Factores que influyen en el funcionamiento

Para (Metcalf & Eddy, 1995) el funcionamiento de las lagunas está gobernado por diferentes factores, los cuales son:

- Penetración de la luz solar en el agua, necesaria para el desarrollo de condiciones aerobias.
- La profundidad del estanque: los muy profundos limitan el alcance de los rayos solares sólo a las capas superiores y los estanques poco profundos son favorables a la aparición de diversos tipos de plantas que podrían limitar el paso de los rayos.
- Precipitación y evaporación en la zona: que podrían alterar el funcionamiento debido a las variaciones de volumen.
- Permeabilidad del suelo: por la cantidad de caudal que se filtra en el fondo y costados de la laguna.
- Vientos: mejoran el funcionamiento cuando son moderados, por la acción mezcladora que producen.
- Naturaleza y fructificación de las algas, ya que consumen anhídrido carbónico y en condiciones climáticas adecuadas liberan oxígeno durante el día.

2.2.2 Tipos de lagunas de estabilización

2.2.2.1 Lagunas aerobias

En las lagunas aerobias predomina la presencia de oxígeno debido al crecimiento de fotosintetizadores y permiten obtener efluentes de baja DBO soluble, pero de alto contenido de algas, las que deberían ser cosechadas para controlar los cuerpos receptores (Mariuz, 2004).

La profundidad tiene que ser de entre 1 a 1.5m para no generar regiones sin oxígeno, sobre todo sabiendo que la turbiedad impide la penetración de la luz solar, suelen tener tiempo de residencia elevada de 20 a 30 días.

Este proceso se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo en presencia de oxígeno, produciéndose compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a las algas, las cuales a su vez producen más oxígeno que facilita la actividad de las bacterias aerobias. El proceso de desdoblamiento de la materia orgánica se lleva a cabo con intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales. (CEPIS, 2005, pág. 24)

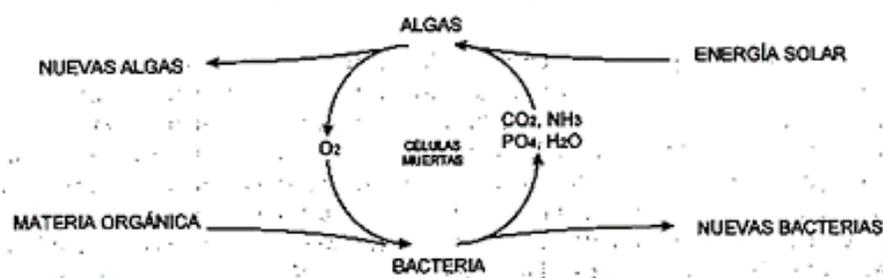
A continuación, se presentan ciertas ventajas y desventajas de las lagunas aerobias:

Cuadro II-1: Ventajas y desventajas de lagunas aerobias

Ventajas	Desventajas
Presenta alta eficiencia	Requiere grandes extensiones
Costo inicial y gastos de operación y mantenimiento bajos	Puede producir vectores biológicos
Gran capacidad para recibir sobrecarga	En épocas de frío disminuye su eficiencia
Simplicidad de operación	Si el precio del terreno es alto puede resultar costoso
Costo energético nulo	

Las algas logran sintetizar materia orgánica que se incorpora a su propio protoplasma y generan oxígeno debido a la fotosíntesis, este oxígeno es aprovechado por los microorganismos aerobios para satisfacer la DBO. Esto conlleva a una simbiosis entre alga y bacteria.

Figura 2-5: Simbiosis alga-bacteria



Fuente: (Comisión Nacional de Agua (México), 2007)

2.2.2.2 Lagunas anaerobias

Este tipo de estanques requieren grandes áreas, no se generan algas y tampoco existe un proceso fotosintético, es decir que no existe presencia de oxígeno.

La eficiencia en la eliminación de los organismos indicados depende principalmente del tiempo de retención hidráulica (de uno a cinco días). El propósito de las lagunas

anaerobias es el desbaste de la materia orgánica, por lo que pueden recibir altas concentraciones de cargas orgánicas: la remoción de la DBO₅ se lleva a cabo debido a la sedimentación de sólidos y el proceso anaerobio (Rolim Mendonca, 2000).

Los estanques anaerobios generan malos olores debido a la producción de sulfuro de hidrógeno (H₂S).

El tratamiento del lixiviado en lagunas anaerobias necesita de dos condiciones importantes: no debe contener oxígeno disuelto en el fondo de la laguna, y la temperatura debe ser mayor a 15°C (Cortes Martinez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunas de estabilizacion, 2017). Una vez establecidas las condiciones anteriores, la materia orgánica pasa por las siguientes etapas: (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005, pág. 37)

- Licuefacción. En esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es, por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros.
- Acidogénesis. En esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.
- Acetogénesis. Se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético (CH₃COOH), hidrógeno (H₂) y dióxido de carbono (CO₂)
- Gasificación. En esta etapa se lleva a cabo la remoción de la materia orgánica, las bacterias anaerobias generan gas metano (CH₄). Luego, el carbono orgánico (C) es convertido a bióxido de carbono (CO₂); de esta manera se presenta la reducción de la materia orgánica.

Las profundidades sugeridas son de 3.0 a 5.0 metros, y la recomendación de tiempo para realizar el desazolve, considerando una operación continua, es de dos a cuatro años (Rolim Mendonca, 2000). En la siguiente se presentan las ventajas y desventajas de las lagunas anaerobias:

Cuadro II-2: Ventajas y desventajas de lagunas anaerobias

Ventajas	Desventajas
Bajos costes de inversión	Grandes extensiones de terreno
Consumo energético nulo	Puede presentar olores desagradables por H ₂ S, ácidos grasos y amidas
Ausencia de averías mecánicas al carecer de equipos	Aspecto poco agradable debido a la acumulación de natas
Escaso y simple mantenimiento	Efluente con contenido de materia orgánica y color (requiere otro tratamiento)
Escasa producción de fangos	Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido
Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos	Tiene riesgos de salud por H ₂ S

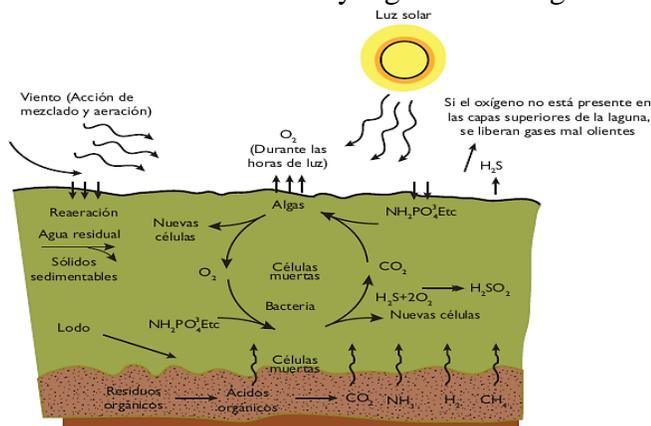
Fuente: (Hernandez, 2017)

2.2.2.3 Lagunas facultativas

Una laguna facultativa se caracteriza por estar compuesta por tres diferentes zonas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten beneficiándose mutuamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo que carece de oxígeno, donde los lodos se acumulan y son descompuestos. Y por último una zona intermedia, que es tanto aerobia como anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (Comision Nacional de Agua (Mexico), 2007).

La materia orgánica soluble y coloidal es oxidada por organismos aerobios y facultativos utilizando el oxígeno producido por las algas que crecen abundantemente en la parte superior de la laguna. El dióxido de carbono producido sirve de fuente de carbono para las algas. Los sólidos presentes en el agua residual tienden a sedimentarse y acumularse en el fondo de la laguna donde se forma un estrato de lodo anaerobio. La descomposición anaerobia de la materia orgánica que se realiza en el fondo de la laguna resulta en una producción de compuestos orgánicos disueltos y gases tales como el dióxido de carbono, (CO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el metano (CH₄), que son oxidados por las bacterias aerobias, o bien, liberados a la atmósfera. (Comision Nacional de Agua (Mexico), 2007, pág. 12)

Figura 2-6: Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa



Fuente: (Cortes Martinez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunas de estabilización, 2017)

Cuadro II-3: Ventajas y desventajas de lagunas facultativas

Ventajas	Desventajas
Eficiencia de remoción de DBO	Elevados requisitos de área
Fácil de construir, operar y mantener	Posible necesidad de remover algas

No requiere equipamiento	Posible crecimiento de insectos
Satisfactoria remoción de patógenos	Es afectada por los compuestos tóxicos
	Generación de gases nocivos y mal olientes (H ₂ S)

Fuente: (Hernandez, 2017)

2.3 Selección de la alternativa de solución más apropiada de acuerdo a criterios apropiados

Como existen diferentes métodos de tratamiento mediante lagunas de estabilización, se escogerá entre lagunas aerobias o anaerobias a través de una matriz de comparación para cada método.

Tabla II-1: Matriz de comparación para lagunas aerobias

Nº	A	B	C	D	E
	%	Proceso evaluado: Lagunas aerobias	Calificación: 0: no aplica 1: deficiente 3: adecuado 5: muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	D*A
1	10	Aplicabilidad del proceso	5	1	10
2	10	Generación de residuos	3	0.6	6
3	10	Aceptación por parte de la comunidad	3	0.6	6
4	10	Generación de subproductos con valor económico o de reúso	3	0.6	6
5	10	Vida útil	5	1	10
6	10	Requerimiento de área	5	1	10
7	8	Costo			
7.1	4	Inversión	3	0.6	
7.2	4	Operación y mantenimiento	5	1	
7.3		Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 7.3 D	8	0.8	6.4
8	10	Diseño y construcción			
8.1	2.5	Criterios de diseño	5	1	
8.2	2.5	Experiencia del contratista	0		

8.3	2.5	Tecnología ampliamente probada	0		
8.4	2.5	Complejidad en la construcción y equipamiento	5	1	
8.5		Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotarlo en la casilla 8.5D	10	0.5	5
9	10	Operación			
9.1	2	Flexibilidad de operación	5	1	
9.2	2	Confiabilidad del proceso	5	1	
9.3	2	Complejidad de operación del proceso	5	1	
9.4	2	Requerimiento de personal	5	1	
9.5	2	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	0		
9.6		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 9.6D	20	0.8	8
10	12	Entorno			
10.1	2	Influencia de la temperatura	3		
10.2	2	Producción de ruido	5		
10.3	2	Contaminación visual	3		
10.4	2	Producción de malos olores	3		
10.5	2	Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	3		
10.6	2	Condiciones para la reproducción de animales dañinos	0		
10.7		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotarlo en la casilla 10.7D	17	0.57	6.8
	100				
11	10	Sumar los valores de la columna e y anotar el resultado en la casilla			74.2

		11E			
--	--	-----	--	--	--

Tabla II-2: Matriz de comparación para lagunas anaerobias

N°	A	B	C	D	E
	%	Proceso evaluado: Lagunas anaerobias	Calificación: 0: no aplica 1: deficiente 3: adecuado 5: muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	D*A
1	10	Aplicabilidad del proceso	5	1	10
2	10	Generación de residuos	5	1	6
3	10	Aceptación por parte de la comunidad	3	0.6	6
4	10	Generación de subproductos con valor económico o de reúso	3	0.6	6
5	10	Vida útil	5	1	10
6	10	Requerimiento de área	3	0.6	6
7	8	Costo			
7.1	4	Inversión	1	0.2	
7.2	4	Operación y mantenimiento	5	1	
7.3		Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotararlo en la casilla 7.3 D	6	0.6	4.8
8	10	Diseño y construcción			
8.1	2.5	Criterios de diseño	3	0.6	
8.2	2.5	Experiencia del contratista	0		
8.3	2.5	Tecnología ampliamente probada	0		
8.4	2.5	Complejidad en la construcción y equipamiento	3	0.6	
8.5		Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotararlo en la casilla 8.5D	9	0.45	4.5
9	10	Operación			
9.1	2	Flexibilidad de operación	3	0.6	

9.2	2	Confiabilidad del proceso	5	1	
9.3	2	Complejidad de operación del proceso	3	0.6	
9.4	2	Requerimiento de personal	5	1	
9.5	2	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	0		
9.6		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 9.6D	16	0.64	6.4
10	12	Entorno			
10.1	2	Influencia de la temperatura	3	0.6	
10.2	2	Producción de ruido	5	1	
10.3	2	Contaminación visual	3	0.6	
10.4	2	Producción de malos olores	1	0.2	
10.5	2	Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	1	0.2	
10.6	2	Condiciones para la reproducción de animales dañinos	0		
10.7		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotarlo en la casilla 10.7D	13	0.43	5.2
	100				
11	10	Sumar los valores de la columna e y anotar el resultado en la casilla 11E			64.9

Tabla II-3: Matriz de comparación para lagunas facultativas

Nº	A	B	C	D	E
	%	Proceso evaluado: Lagunas facultativas	Calificación: 0: no aplica 1: deficiente 3: adecuado 5: muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	D*A
1	10	Aplicabilidad del proceso	5	1	10
2	10	Generación de residuos	5	1	6

3	10	Aceptación por parte de la comunidad	3	0.6	6
4	10	Generación de subproductos con valor económico o de reúso	3	0.6	6
5	10	Vida útil	5	1	10
6	10	Requerimiento de área	1	0.2	2
7	8	Costo			
7.1	4	Inversión	1	0.2	
7.2	4	Operación y mantenimiento	5	1	
7.3		Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 7.3 D	6	0.6	4.8
8	10	Diseño y construcción			
8.1	2.5	Criterios de diseño	5	1	
8.2	2.5	Experiencia del contratista	0		
8.3	2.5	Tecnología ampliamente probada	0		
8.4	2.5	Complejidad en la construcción y equipamiento	5	1	
8.5		Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C y dividir el total entre 20. El resultado anotarlo en la casilla 8.5D	10	0.5	5
9	10	Operación			
9.1	2	Flexibilidad de operación	5	1	
9.2	2	Confiabilidad del proceso	5	1	
9.3	2	Complejidad de operación del proceso	5	1	
9.4	2	Requerimiento de personal	3	0.6	
9.5	2	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	0		
9.6		Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 9.6D	18	0.72	7.2
10	12	Entorno			
10.1	2	Influencia de la temperatura	3	0.6	
10.2	2	Producción de ruido	5	1	
10.3	2	Contaminación visual	3	0.6	
10.4	2	Producción de malos olores	1	0.2	

10.5	2	Generación de gases de efecto invernadero (huella de carbono)	1	0.2	
10.6	2	Condiciones para la reproducción de animales dañinos	0		
10.7		Sumar las casillas 10.1C, 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotarlo en la casilla 10.7D	13	0.43	5.2
11	100	Sumar los valores de la columna e y anotar el resultado en la casilla 11E			62.2

En vista de que el método mediante lagunas de estabilización aerobias obtuvo la mayor calificación, este vendría a ser el sistema de tratamiento más adecuado para implementar en el relleno sanitario de Pampa Galana.

**CAPITULO III:
ESPECIFICACION Y DISEÑO
DEL EQUIPO**

CAPITULO III: ESPECIFICACION Y DISEÑO DEL EQUIPO

3.1 Balance hídrico

El balance hídrico se considera como un factor de seguridad, si el estanque es grande mayor confianza en la remoción de la materia orgánica, pero se arriesga el balance hídrico. Para que un sistema de lagunas funcione correctamente debe mantener el nivel de agua residual adecuado. (Cortes Martinez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, 2017, pág. 48)

La siguiente expresión calcula el balance hídrico.

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e) \left[\frac{m^3}{\text{día}} \right] \quad (1)$$

Dónde: Q_e = Caudal del efluente.

Q_a = Caudal afluente de lixiviados

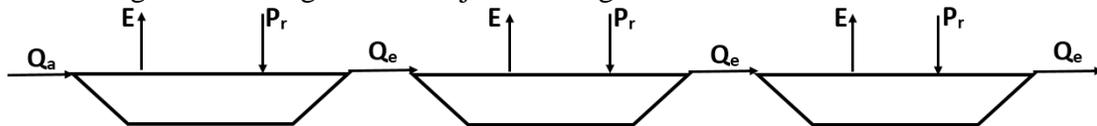
P_r = Precipitación sobre el área de laguna.

P_c = Infiltración de agua subterránea hacia la laguna (sucede cuando no se impermeabilizan las lagunas)

E = Evaporación

P_e = Pérdida por percolación (sucede cuando no se impermeabilizan las lagunas).

Figura 3-1: Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización aerobias



Los datos de evaporación y precipitación pueden ser obtenidos de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se recomienda que las unidades para todas las variables del balance sean en m³/día o l/día. Se debe tomar en cuenta el mes con la menor precipitación, nivel freático muy bajo y alta evaporación. Una vez realizado el balance hídrico el valor del efluente tiene que ser positivo, lo que indica que no habrá un rebalse de líquido en las lagunas. El balance hídrico solo se aplica en lagunas aerobias y de maduración (Cortes Martinez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, 2017).

3.1.1 Calculo

Debido a que se va a emplear material impermeable para las lagunas, no se tomara en cuenta las variables de infiltración de agua (P_c) ni perdidas por percolación (P_e). Entonces la ecuación (1) nos queda así:

$$Q_e = Q_a + P_r - E \left[\frac{m^3}{\text{día}} \right] \quad (2)$$

Según la bibliografía se deben tomar los datos de precipitación pluvial y evaporación del mes con mayor evaporación y menor precipitación.

Tabla III-1: Datos de precipitación pluvial en Tarija

Año	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	237.0	211.2	78.8	25.1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	40.9	50.8	113.9
2016	131.5	85.4	10.9	5.1	1.0	0.0	0.0	10.4	2.9	13.6	62.8	63.8
2017	98.7	90.6	132.6	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	7.0	15.6	126.4
2018	194.9	69.6	40.9	7.0	5.8	0.0	0.0	0.8	23.9	70.5	99.6	137.0
2019	126.8	116.5	58.3	68.0	1.2	0.0	18.0	0.0	0.0	50.3	62.2	63.4
2020	175.4	86.5	46.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	24.3	69.0	49.2	115.7
2021	100.6	98.6	75.5	22.1	0.0							

Fuente: (SENAMHI, 2022)

Tabla III-2: Datos de evaporación en Tarija

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Evap.	129.5	102.9	92.8	14.2	1.6	0.2	0.2	1.8	7.3	39.4	74.9	126.6

Fuente: (Ministerio de medio ambiente y agua, 2019)

El mes de abril presenta la precipitación mínima (P_r) de 1.9 mm/mes y el mes de enero la evaporación máxima (E) de 129.5 mm/mes. Las unidades mm/día se pueden interpretar como litros por metro cuadrado por mes ($l/m^2 \cdot \text{mes}$), por lo que se debe convertir el litro a m^3 y multiplicarlo por el área de la laguna que vendría a ser la superficie afectada por estos factores. Entonces tenemos que:

$$\text{Precipitación } (P_r) = 1.9 \frac{l}{m^2 \text{ mes}} * \frac{1m^3}{1000l} * 357.85m^2 * \frac{1\text{mes}}{30\text{días}}$$

$$P_r = 0.0227 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Evaporación } (E) = 129.5 \frac{l}{m^2 \text{ mes}} * \frac{1m^3}{1000l} * 357.85m^2 * \frac{1\text{mes}}{30\text{días}}$$

$$E = 1.545 \text{ m}^3/\text{día}$$

Entonces para el cálculo del caudal del efluente se tiene la siguiente expresión:

$$Q_e = 3.87 \text{ m}^3/\text{día} + 0.0227 \text{ m}^3/\text{día} - 1.545 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_e = 2.35 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.2 Diseño y dimensionamiento del o los equipos necesarios

3.2.1 Diseño de las lagunas de estabilización aerobias

El proceso para diseñar lagunas aerobias es similar a los empleados para lagunas facultativas. Se lo realiza en base al DBO₅ del lixiviado, caudal de lixiviados por día y la carga superficial de diseño.

A continuación se presentan las ecuaciones que se deben emplear, de acuerdo a (Cortes Martinez, Treviño Cansino, & Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunas de estabilización, 2017), para el cálculo de los diferentes parámetros de las lagunas

3.2.1.1 Carga superficial de diseño

$$\lambda_s = 250 * (1.085)^{T-20} \left[\frac{\text{kg DBO}}{\text{ha} * \text{día}} \right] \quad (3)$$

Dónde: λ_s = carga superficial de diseño

T= temperatura mínima media mensual del mes más frío (°C)

3.2.1.2 Área de la laguna

$$A_a = \frac{10 * \text{DBO}_i * Q_i}{\lambda_s} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4)$$

Dónde: A_a = Área de laguna aerobia

Q_i = caudal del influente (m³/día)

DBO_i = concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada del estanque en (mg/L).

λ_s = carga superficial de diseño (kg DBO/ha*día)

10= factor de conversión a m²

3.2.1.3 Dimensionamiento

Ancho promedio

Para el dimensionamiento de la laguna se considera una relación largo-ancho $x = 3$ y para el talud de los bordos 2:1.

$$B_{\text{prom}} = \sqrt{\frac{A_a}{x}} \text{ [m]} \quad (6)$$

Dónde: B_{prom} = ancho promedio de la laguna

A_a = área de la laguna (m²)

x = relación largo-ancho

Longitud promedio

$$L_{\text{prom}} = \frac{A_a}{B_{\text{prom}}} \text{ [m]} \quad (7)$$

Dónde: L_{prom} = longitud promedio
 A_a = área de la laguna aerobia (m²)
 B_{prom} = ancho promedio de la laguna (m)

Ancho superior

Para determinar el ancho superior de la laguna aerobia se tiene:

$$B_{\text{sup}} = B_{\text{prom}} + Z(\text{talud})[\text{m}] \quad (8)$$

Dónde: B_{sup} = ancho superior de laguna
 B_{prom} = ancho promedio de laguna (m)
 Z = profundidad (m)

Longitud superior

Para determinar la longitud superior de la laguna se tiene:

$$L_{\text{sup}} = L_{\text{prom}} + Z(\text{talud})[\text{m}] \quad (9)$$

Dónde: L_{sup} = longitud superior de laguna
 L_{prom} = longitud promedio de laguna (m)
 Z = profundidad (m)

Ancho inferior

Para el cálculo del ancho inferior (B_{inf}) considerar el B_{prom} menos el producto de Z por la relación el talud.

$$B_{\text{inf}} = B_{\text{prom}} - Z(\text{talud})[\text{m}] \quad (10)$$

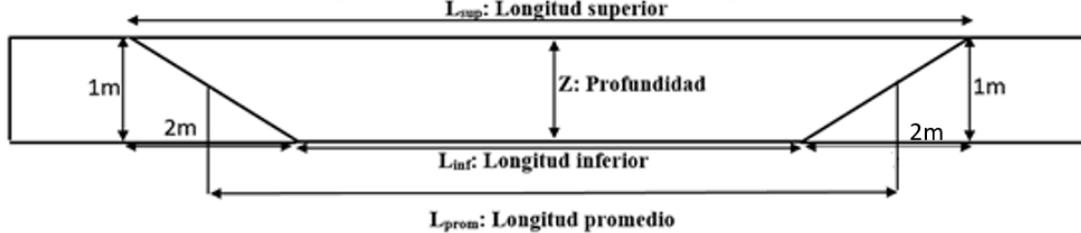
Dónde: B_{inf} = ancho inferior
 B_{prom} = ancho promedio (m)
 Z = profundidad (m)

Longitud inferior

$$L_{\text{inf}} = L_{\text{prom}} - Z(\text{talud})[\text{m}] \quad (11)$$

Dónde: L_{inf} = longitud inferior
 L_{prom} = longitud promedio (m)
 Z = profundidad (m)

Figura 3-2: Dimensiones de la laguna



Fuente: (Cortes Martinez & Treviño Cansino, 2013)

3.2.1.4 Área superior

$$A_{\text{sup}} = B_{\text{sup}} * L_{\text{sup}} \text{ [m}^2\text{]} \quad (12)$$

Dónde: A_{sup} = área superficial

B_{sup} = ancho superior (m)

L_{sup} = longitud superior (m)

3.2.1.5 Área en el fondo

El área en el fondo depende de la inclinación del talud, y la profundidad que se seleccione para la laguna. Si la inclinación es 1:P (2:1)

$$A_f = A_a - [2 * P * Z * (L_{\text{sup}} + B_{\text{sup}})] + (2 * P * Z)^2 \quad (13)$$

Dónde: Z= profundidad

L_{sup} = longitud de la laguna en la superficie

B_{sup} = ancho en la superficie

A_f = área en el fondo

A_a = área de la laguna

3.2.1.6 Volumen de la laguna

El volumen servirá para calcular el tiempo de retención hidráulico. Se determina mediante la siguiente formula:

$$V = \frac{Z}{3} * (A_a + A_f + \sqrt{A_a * A_f}) \text{ [m}^3\text{]} \quad (14)$$

Dónde: Z= profundidad de laguna (m)

A_a = área de la laguna (m²)

A_f = área en el fondo (m²)

3.2.1.7 Tiempo de retención hidráulico

Tiempo que el lixiviado permanecerá en la laguna, está definido por la siguiente formula.

$$O_a = \frac{V}{Q_i} \text{ [dia]} \quad (5)$$

Dónde: O_a = tiempo de retención hidráulico
 V = volumen de laguna aerobia (m^3)
 Q_{prom} = caudal promedio ($m^3/día$)

3.2.1.8 Constante de decaimiento

Esta constante determina el tiempo necesario en el que los microorganismos degradan la materia orgánica mediante el proceso de autodepuración (Torres Carvajal Oscar, 2017). La siguiente expresión determina el factor K_f para diferentes temperaturas.

$$K_f = \frac{1.2}{(1.085)^{35-T}} \text{ [dia}^{-1}\text{]} \quad (15)$$

Dónde: K_f = coeficiente de decaimiento para cualquier temperatura
 T = temperatura ambiente

Se debe considerar un valor diferente al 1.2 de la expresión anterior, de 1.066 para lagunas aerobias y de 1.00 para estanques de maduración.

3.2.1.9 Coeficiente de reducción bacteriana.

Este coeficiente determina la mortalidad de los coliformes fecales, es muy dependiente de la temperatura y del tipo de laguna. El valor puede ser entre 0.1 a 1.2

$$K_b = 0.841 * (1.075)^{T-20} \text{ [dia}^{-1}\text{]} \quad (16)$$

Dónde: K_b = coeficiente de reducción bacteriana
 T = temperatura mínima media mensual

3.2.1.10 Coliformes fecales en el efluente de la laguna

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * a * e^{\left(1 - \frac{a}{2d}\right)}}{(1 + a)^2} \quad (17)$$

Dónde: N_f/N_o = Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente
 N_f = Coliformes fecales a la salida de la laguna
 N_o = Coliformes fecales a la entrada de la laguna
 d = Factor de dispersión adimensional
 a = Constante “a” para cálculos de coliformes en el efluente

La operación matemática para definir los coliformes fecales a la salida de la laguna (N_f) será la multiplicación de (N_f/N_o) por los coliformes fecales a la entrada (N_o).

$$d = \frac{x}{-0.26118 + (0.25392 * x) + (1.0136 * x^2)} \quad (18)$$

Dónde: x = relación largo ancho

$$a = \sqrt{1 + 4 * K_b * O_a * d} \quad (19)$$

Dónde: K_b = Constante de reducción bacteriana
 O_a = Tiempo de retención hidráulico
 d = Factor de dispersión adimensional

3.2.1.11 Concentración de materia orgánica a la salida de la laguna

$$DBO_e = \frac{DBO_i}{K_f * O_a + 1} \left[\frac{mg}{l} \right] \quad (20)$$

Dónde: K_f = coeficiente de decaimiento (dia^{-1})
 O_a = tiempo de retención hidráulico (día)

3.2.1.12 Eficiencia de remoción del DBO

$$E = \frac{DBO_i - DBO_e}{DBO_i} * 100 \quad (21)$$

Dónde: DBO_i = DBO a la entrada de la laguna
 DBO_e = DBO a la salida de la laguna

3.2.1.13 Pared perimetral para las lagunas

A pesar de que para el diseño de las lagunas se toma en cuenta la precipitación pluvial del área, por precaución para algún rebalse que se pueda dar ya que son cálculos teóricos los que se están haciendo, se construirá una pared perimetral de un metro (1m) de altura y medio metro (0.5m) de ancho para cada laguna.

3.2.3 Cálculos

Carga superficial de diseño

Tabla III-3: Datos de temperatura mínima media mensual en Tarija

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	14.6	15.4	15.0	13.2	7.1	4.1	2.0	5.9	9.4	11.5	13.7	15.4
2016	14.8	16.2	13.7	12.1	6.8	3.4	3.0	6.5	7.6	11.9	12.1	14.9
2017	15.1	14.9	14.4	11.6	8.1	3.1	4.9	6.8	10.1	11.6	14.2	15.8
2018	15.0	14.7	13.5	12.5	9.0	3.4	3.7	4.2	9.2	13.6	14.9	14.7
2019	15.7	13.7	14.0	11.7	6.5	4.4	3.4	4.0	8.7	11.3	14.6	14.5
2020	15.4	15.2	13.8	11.2	4.6	4.3	2.4	5.5	8.7	8.6	13.6	14.2
2021	14.8	14.6	13.5	12.3	6.3							

Fuente: (SENAMHI, 2022)

Según datos provenientes del SENAMHI el mes más frío es julio y su temperatura mínima media es de 2.4°C

$$\lambda_s = 250 * (1.085)^{2.4-20}$$

$$\lambda_s = 59.48 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha} * \text{dia}}$$

Área de la laguna

En la tabla I-3 se tiene que la demanda biológica de oxígeno que presenta el lixiviado del relleno sanitario es de 550 mg/l (En el anexo 11 se tiene el informe del análisis de DBO, DQO, sólidos disueltos y pH realizados por el CEANID) y el caudal es de 3.87m³/día (El dato de caudal fue medido con la ayuda de los ingenieros del relleno sanitario como se muestra en la figura 1-8).

$$A_a = \frac{10 * 550 \frac{\text{mg}}{\text{l}} * 3.87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{59.48 \frac{\text{kgDBO}}{\text{ha} * \text{dia}}}$$

$$A_a = 357.85 \text{ m}^2$$

Dimensionamiento

-Ancho promedio

Para el dimensionamiento de la laguna se considera una relación largo-ancho $x = 3$, a fin de evitar hasta donde sea posible las zonas muertas, y para el talud de los bordos 2:1.

$$B_{\text{prom}} = \sqrt{\frac{357.85 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B_{\text{prom}} = 10.92 \text{ m}$$

-Longitud promedio

$$L_{\text{prom}} = \frac{357.85 \text{ m}^2}{10.92 \text{ m}}$$

$$L_{\text{prom}} = 32.76 \text{ m}$$

-Ancho superior

$$B_{\text{sup}} = 10.92 \text{ m} + 1 \text{ m} * (2/1)$$

$$B_{\text{sup}} = 12.92 \text{ m}$$

-Longitud superior

$$L_{\text{sup}} = 32.76 \text{ m} + 1 \text{ m} * (2/1)$$

$$L_{\text{sup}} = 34.76 \text{ m}$$

-Ancho inferior

$$B_{\text{inf}} = 10.92 \text{ m} - 1 \text{ m} * (2/1)$$

$$B_{\text{inf}} = 8.92 \text{ m}$$

-Longitud inferior

$$L_{\text{inf}} = 32.76 \text{ m} - 1 \text{ m} * (2/1)$$

$$L_{\text{inf}} = 30.76 \text{ m}$$

-Área superior

$$A_{\text{sup}} = 12.92 \text{ m} * 34.76 \text{ m}$$

$$A_{\text{sup}} = 449.22 \text{ m}^2$$

-Área inferior

$$A_{\text{inf}} = 8.92 \text{ m} * 34.76 \text{ m}$$

$$A_{\text{inf}} = 310.96 \text{ m}^2$$

Área en el fondo

El área en el fondo depende de la inclinación del talud, y la profundidad que se seleccione para la laguna. Si la inclinación es 1:P (2:1)

$$A_f = 357.85 \text{ m}^2 - [2 * 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * (34.76 \text{ m} + 12.92 \text{ m})] + (2 * 1 \text{ m} * 1 \text{ m})^2$$

$$A_f = 258.49 \text{ m}^2$$

Volumen de la laguna

La altura recomendada para las lagunas de estabilización es entre 1m a 1.5m

$$V = \frac{1}{3} \text{ m} * \left(357.85 \text{ m}^2 + 258.49 \text{ m}^2 + \sqrt{357.85 \text{ m}^2 * 258.49 \text{ m}^2} \right)$$

$$V = 306.83 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención hidráulico

Teniendo en cuenta el caudal del efluente teórico determinado del balance hídrico en la ecuación (2) podemos sacar un caudal promedio para determinar el tiempo de

retención. Se promedia el Q_e con el Q_a para tomar en cuenta toda alteración que pueda sufrir el flujo, ya sea por evaporación, precipitación pluvial u otro factor externo.

$$Q_{\text{prom}} = \frac{Q_e + Q_a}{2} = \frac{2.35 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 3.87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{2}$$

$$Q_{\text{prom}} = 3.11 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$O_a = \frac{306.83 \text{ m}^3}{3.11 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$O_a = 98.66 \text{ días}$$

Constante de decaimiento

Tabla III-4: Datos de temperatura media en Tarija

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2015	21.0	21.4	20.9	19.2	16.2	14.9	13.7	18.0	19.3	20.1	20.6	22.4	19.0
2016	22.0	23.0	19.8	20.7	14.3	11.4	14.2	16.3	16.6	19.9	19.6	22.2	18.3
2017	22,2	21.2	20.7	17.9	17.2	14.6	15.4	17.4	18.8	20.2	21.2	22.2	19.1
2018	20.6	20.2	19.9	20.3	17.4	13.4	14.0	14.4	19.1	20.1	20.5	21.0	18.4
2019	22.2	20.1	20.0	18.6	15.9	16.2	13.6	14.3	18.2	19.8	22.1	21.0	18.5
2020	21.6	20.8	20.6	18.6	15.8	16.0	14.2	16.3	18.0	21.2	20.6	20.8	18.7
2021	20.8	20.2	19.2	18.2	15.4								

Fuente: SENAMHI

La temperatura ambiente que se tiene en Tarija es de 18.7°C

$$K_f = \frac{1.2}{(1.085)^{35-18.7}}$$

$$K_f = 0.3174 \text{ día}^{-1}$$

Coficiente de reducción bacteriana

La temperatura mínima media mensual del mes más frío es de 2.4°C

$$K_b = 0.841 * (1.075)^{2.4-20}$$

$$K_b = 0.2355 \text{ día}^{-1}$$

Coliformes fecales en el efluente de la laguna

-Factor de dispersión adimensional

Los valores que puede tomar este factor es entre 0.05 a 8.0 de acuerdo a (Wehner & Wilhelm, 1956)

$$d = \frac{3}{-0.26118 + (0.25392 * 3) + (1.0136 * 3^2)}$$

$$d = 0.3118$$

-Constante “a” para cálculos de coliformes en el efluente

$$a = \sqrt{1 + (4 * 0.2355 * 98.69 * 0.3118)}$$

$$a = 5.48$$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * 5.48 * e^{\left(1 - \frac{5.48}{2 * 0.3118}\right)}}{(1 + 5.48)^2}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = 2.16 \times 10^{-4}$$

La operación matemática para definir los coliformes fecales a la salida de la laguna (N_f) será la multiplicación de (N_f/N_o) por los coliformes fecales a la entrada (N_o). El dato de coliformes fecales en la entrada fue obtenido mediante un análisis hecho en el laboratorio de COSAALT (En el Anexo 8 se encuentra el informe).

$$N_f = (2.16 \times 10^{-4}) * (1.1 \times 10^4 \text{ NMP/100ml})$$

$$N_f = 2.38 \text{ NMP/100ml}$$

Los límites permisibles según la ley 1333 para este parámetro se detallan más adelante en la tabla IV-6.

Concentración de materia orgánica a la salida de la laguna

$$DBO_e = \frac{550 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{(0.3174 \text{ dia}^{-1} * 98.69 \text{ dias}) + 1}$$

$$DBO_e = 17.56 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Eficiencia de remoción del DBO

$$E = \frac{550 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 17.56 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{550 \frac{\text{mg}}{\text{l}}} * 100$$

$$E = 96.81\%$$

CAPITULO IV: ANALISIS ECONOMICO

CAPITULO IV: ANALISIS ECONOMICO

El propósito de realizar un análisis económico es para ayudar a los ingenieros, administrativos y personal involucrado en la supervisión del proyecto a determinar la magnitud de la inversión que se hará para el sistema de tratamiento, tanto en los costos de capital, de operación y mantenimiento.

4.1 Cálculo de costo de capital

En general, para el cálculo de la inversión intervienen numerosos factores como son:

- Determinar la capacidad de las lagunas de estabilización y los costos de construcción
- Costos locales del material de impermeabilización y mano de obra
- Costo de construcción de las lagunas y de acarreo de materiales
- Costo del terreno
- Tiempo de duración de la obra

Es importante considerar los costos por administración, servicios legales, servicios de ingeniería/arquitectura, inspecciones e imprevistos que generalmente son de un 25 % del costo total de la inversión.

Para determinar los costos de construcción total o de inversión, es necesario saber los costos unitarios de cada elemento que se empleara y sumar dichos costos, de los elementos propuestos. Los costos de inversión dependen del sistema a ser instalado y pueden aumentar debido, a problemas como la adquisición del terreno, falta de drenajes, etc. Situaciones que deben preverse e incluirse en la estimación del costo final del proyecto.

Cuadro IV-1: Elementos que conforman el costo de inversión

Elementos	Descripción
Terreno	Este elemento vendría a ser el mismo terreno en donde se encuentra el relleno sanitario
Obra civil	Se considera la cantidad de excavación requerida para las lagunas de estabilización en m ³ y la cantidad de geomembrana
Equipamiento	Hace referencia a la maquinaria empleada para la construcción de las lagunas
Capital de trabajo e inversión (geotextil,	Fondo que se constituye generalmente al

traslado de la tierra, personal)	final de la fase de instalación para cubrir los gastos exigidos por el funcionamiento del sistema de tratamiento y garantizar así la continuidad de la operación. Principalmente se conforma por una reserva de dinero para cumplir con los sueldos del personal mínimo necesario que supervisa el sistema de tratamiento.
----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Propia

Para las lagunas de estabilización el costo de inversión queda prácticamente determinado por tres aspectos

Costo de excavación

Tabla IV-1: Precios de maquinaria en Tarija

Descripción	Unidad	Precio unitario (Bs)
Aguatero	Hora	79.16
Amoladora	Hora	2.50
Andamio metálico (2 módulos)	Hora	15.00
Compactadora de rodillo	Hora	182.40
Equipo de soldadura	Hora	17.00
Guinche	Hora	42.00
Máquina para corte de hormigón	Hora	95.00
Maquinaria para limpieza	m ²	3.88
Mezcladora 350 litros	Hora	30.00
Motobomba	Hora	26.84
Motoniveladora	Hora	273.60
Pala cargadora	Hora	334.40
Plataforma para andamio metálico	Hora	10.00
Retroexcavadora	Hora	241.50
Teodolito	Hora	20.00
Tractor oruga D-6	Hora	364.80
Tractor oruga D-7	Hora	364.80
Vibradora de inmersión	Hora	22.00
Volquete de 5m ³	Hora	80.50

Fuente: (Insucons, 2022)

Tabla: IV-2: Precios de mano de obra en Tarija

Descripción	Unidad	Precio unitario (Bs)
Maestro carpintero	Jrnl	120.00
Maestro cerrajero	Jrnl	80.00
Maestro cerrajero	Jrnl	120.00
Maestro colocador de cubierta jatata	Jrnl	15.00
Maestro electricista	Jrnl	150.00
Maestro encofrador	Jrnl	120.00
Maestro pintos	Jrnl	120.00
Maestro pintor	Jrnl	120.00
Maestro Plomero	Hora	13.75
Maestro vidriero	Jrnl	120.00
Montador de tubería	Hora	12.00
Operador de compactadora de rodillo	Hora	15.00
Operador de equipo liviano	Hora	23.10
Operador de motoniveladora	Hora	5.04
Operador pala cargadora	Hora	23.10
Operador retro-excavadora	Hora	23.10
Operador de tractor oruga	Hora	23.10
Operador de volquete	Hora	12.16
Peón	Jrnl	50.00

Fuente: (Insucons, 2022)

Tabla IV-3: Características técnicas de la retroexcavadora

Peso	22.5 tn	Longitud de transporte	9.53 m
Anchura transporte	3.17 m	Altura de transporte	2.96 m
Capacidad de cuchara	1.19 m ³	Mecanismo de dirección	LC
Anchura orugas	790 mm	Pluma	MB
Max. Alcance lateral	9.86 m	Profundidad de excavación	6.72 m
Fuerza de rotura	150 kN	Fabr. del motor	Caterpillar
Modelo de motor	C\$.4 Acert	Rendimiento del motor	121 kW
Cilindrara	4.4 l	Cilindro diámetro x carrera	105x127mm
Nivel de emisión	U.S. EPA Tier 4	Capacidad de la pala min.	###
Capacidad de pala max.	###	Ancho cuchara	###
Medidas l x a x n	###	Revoluciones	###
Par máximo	###	N° de cilindros	###

Fuente: (Lectura Specs, 2022)

Como el tiempo de ciclo de la retro-excavadora es de 60 segundos, con una capacidad de carga de 1.19 m^3 y se tiene un volumen de laguna de 306.83 m^3 entonces:

$$\text{Capacidad por hora} = \frac{3600 \text{ seg} * 1.19 \text{ m}^3}{60 \text{ seg}} = 71.4 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$\frac{306.83 \text{ m}^3}{71.4 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}} = 4.30 \text{ horas}$$

Por laguna se tiene que realizaría la excavación de una laguna en aproximadamente 4 horas y media.

El precio por hora que se tiene para la excavadora es de 241.50 Bs/hora y del operario de la maquina es de 23.10 Bs/hora. Entonces el gasto de la excavadora sería de 1086.75 Bs. y del operario 103.95 Bs. por laguna, al tratarse de tres lagunas el total del gasto serian 3260.25 Bs. para la retro-excavadora y para el operario 311.85 Bs.

Costo de impermeabilización

Tabla IV-4: Costo de geomembrana

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
1	Materiales			
m2	Geotextil no tejido compuesto por fibras de polipropileno unidas por agujeteado a la tracción longitudinal de 21.1 kN/m una resistencia a la tracción transversal de 24.8 kN/m, una apertura de cono al ensayo de perforación según IDO 13433 inferior a 9.8mm, resistencia CBR a punzonamiento 3.9 kN y una masa de 300 g/m2	2.20	14.56	32.03
m2	Geomembrana homogénea de policloruro de vinilo plastificado (PVC-P) de 1.2mm de espesor color gris, con una densidad de 1240 kg/m3 según ISO 1183 y resistencia CBR a punzonamiento de 1.8 kN según ISO 12236, suministrada en rollos de 2.05 m de anchura y 150 m de longitud	1.10	86.93	95.62
		Subtotal materiales:		127.65
2	Mano de obra			
h	Especialista aplicador de láminas impermeabilizantes	0.29	44.53	13.05
h	Ayudante 1ª aplicador de láminas impermeabilizantes	0.29	33.24	9.74
		Subtotal materiales:		22.79
3	Herramienta menor			
%	Herramienta menor	2.00	150.44	3.01
Coste de mantenimiento decenal: 7.67 Bs en los primero 10 años		Costos directos (1+2+3):		153.45Bs

Fuente: (CYPE, 2022)

Para lagunas de estabilización de vertederos se emplea la geomembrana de policloruro de vinilo plastificado, la cual tiene un costo de 153.45 Bs/m².

-Cálculo del área total de la geomembrana

Pendiente de la laguna

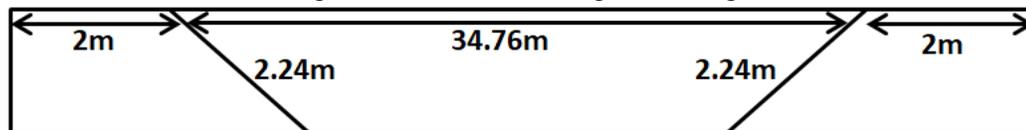
$$\sqrt{(2\text{m})^2 + (1\text{m})^2} = 2.24\text{m}$$

Base de la laguna

$$(8.92\text{m} + 0.2) * (30.76\text{m} + 0.2) = 282.35\text{m}^2$$

Pared lateral 1 (largo)

Figura 4-1: Vista del largo de la laguna

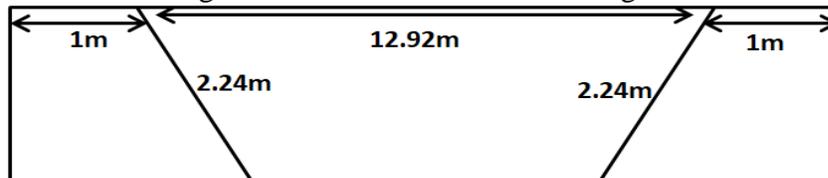


$$L_{\text{sup}} = 34.76\text{m} + 2\text{m} + 2\text{m} = 38.76 \approx 39\text{m}$$

$$39\text{m} * [(2.24\text{m} + 2\text{m} + 0.1) * 2] = 338.52\text{m}^2$$

Pared lateral 2 (ancho)

Figura 4-2: Vista del ancho de la laguna



$$B_{\text{sup}} = 12.92\text{m} + 1\text{m} + 1\text{m} = 14.92 \approx 15\text{m}$$

$$15\text{m} * [(2.24\text{m} + 1\text{m} + 0.1) * 2] = 100.2\text{m}^2$$

$$\text{Área total de geomembrana: } 282.35\text{m}^2 + 338.52\text{m}^2 + 100.2\text{m}^2 = 721.07\text{m}^2$$

Al tener un área de 721.07 m² el gasto para el material impermeable sería de 110648.19 Bs para una laguna, al ser tres lagunas el total entonces será de 331944.57Bs de inversión para la impermeabilización.

Costo de compactación del suelo

El rendimiento de una compactadora de rodillo es de 400 m²/hora y para poder determinar el costo total se utilizará el área calculada para la geomembrana ya que toma en cuenta las paredes laterales de la laguna

Entonces tendríamos un área de 721.07m^2 y se hace la siguiente operación:

$$\text{Tiempo de compactacion para una laguna} = \frac{721.07\text{m}^2}{400 \frac{\text{m}^2}{\text{hora}}} = 1.8 \text{ horas}$$

Para una laguna se podría decir que se tardara 2 horas aproximadamente

Como es el costo por hora de una compactadora de rodillo es de 182.40 Bs/hora, para una laguna el costo sería de 364.80 Bs y al tratarse de tres lagunas se tendría un costo total de 1094.40 Bs. Para el operario de la compactadora el costo es de 15.00 Bs/hora, para las tres lagunas el tiempo total de operación es de 6 horas y el total para el operario sería de 90.00 Bs.

Costos auxiliares

Se deben considerar todo lo que permiten una mejor operación del sistema de tratamiento. En este caso vendría a ser el personal para la supervisión de las lagunas que sería uno por cada laguna, por lo que se tendrían 3 operarios.

Para el sueldo de estos 3 operarios se optó por pagar el salario mínimo más un 20% a cada uno. Según el ministerio de trabajo de Bolivia el salario mínimo actual es de 2250.00Bs. mas el 20% que serían 450.00Bs. El sueldo de cada operario es de 2700.00Bs.

Entonces los costos auxiliares en total serian de 8100.00Bs.

Costos de investigación

Se tomará en cuenta los gastos que se hicieron para la realización de este proyecto, como ser:

- Análisis de muestra de lixiviado: 80.00 Bs.
- Investigador (por día): 140.00 Bs.
- Impresión del proyecto: 40.00 Bs.

Tabla IV-5: Cuadro resumen de costos de inversión

Factor	Costo unitario	Costo total
Máquina de excavación	241.50 Bs/hora	3260.25 Bs.
Operario de la retroexcavadora	23.10 Bs/hora	311.85 Bs.
Maquina compactadora	182.40 Bs/hora	1094.40 Bs.
Operario de la compactadora	15.00 Bs/hora	90.00 Bs
Geomembrana de policloruro de vinilo plastificado	153.45 Bs/m ²	331 944.57 Bs.
Personal de supervisión	2 700.00 Bs.	8 100.00 Bs.
Total		344 801.07

4.2 Costo de operación

El tratamiento mediante lagunas de estabilización aerobias no requiere de maquinaria ni energía eléctrica para su operación, por lo que teóricamente no hay costos de operación. El costo de su operación vendría a ser los sueldos que se deben pagar al personal que estará supervisando las lagunas en caso de algún incidente.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta ciertos criterios para el mantenimiento que se debe realizar para una adecuada o ideal operación.

4.2.1 Características del funcionamiento ideal

- El color de agua es verde intenso y un poco transparente.
- No hay olores desagradables.
- El pH es mayor que 7.0.
- No hay natas de algas o lodo flotando en la superficie de agua.
- El agua que sale es clara con una coloración verdosa.
- No hay vegetación ni en taludes ni en las áreas vecinas.

4.2.2 Control de funcionamiento

Para poder llevar a cabo el proceso de depuración de aguas residuales es necesario mantener un control, y así proporcionar un producto económico y de calidad.

Se deberá realizar dos veces al año para la comprobación del funcionamiento los siguientes análisis:

En la entrada y salida de la laguna:

- DBO₅ o DQO.
- pH.
- Alcalinidad.
- Sólidos en suspensión.
- Sólidos totales.

Estos análisis se realizarán 3 veces en un mes para verificar el trabajo y la eficiencia de la laguna. Comparar las características del efluente con los límites permisibles para su posterior uso.

4.2.2.1 Mucha materia orgánica

En este caso hay que averiguar:

- Si la laguna ya está en el período final de diseño, si es así, habrá que ampliar el sistema o desviar parte de las aguas hasta que se amplíe el sistema.
- Si hay entrada de otras aguas diferentes, si es así cortar estas entradas.

4.2.2.2 Exceso de lodo

El acarreo de muchos en el afluente es porque el nivel del lodo está muy alto (mayor a la mitad de la profundidad), entonces es necesario sacar el exceso de lodo y dejarlo secar para poder depositarlo en el relleno sanitario.

4.3 Optimización técnica

Tomando en cuenta el método mediante recirculación, que es el método utilizado actualmente en el relleno sanitario, es el más comúnmente utilizado debido a su bajo costo de operación, ya que el método consiste básicamente en transportar el lixiviado a las capas de residuos sólidos mediante aspersores o camión cisterna, pero este método tiene ciertas consecuencias. La recirculación de los lixiviados en grandes cantidades puede generar efectos de saturación, rebalse dentro del relleno sanitario y condiciones ácidas. Cuando existe saturación de lixiviados al recircularse, éstos pueden impedir la migración de los gases de vertedero lo que conlleva a un aumento en la presión interna del vertedero lo que conlleva a condiciones de operación inseguras.

En cambio, si optamos por el método mediante lagunas de estabilización los costos de inversión serían incluso menores ya que para las lagunas de estabilización el transporte del lixiviado es mediante la diferencia de altura entre cada laguna y su operación y mantenimiento es simple. Por otro lado, con este método podemos darles una reutilización a las aguas tratadas a diferencia del método por recirculación. El mayor inconveniente es el requerimiento de un amplio terreno para la construcción de las lagunas.

A continuación, se tienen las ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización:

4.3.1 Ventajas

- Bajo costo de operación.
- Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.
- Esquemas sencillos de flujo.
- Equipo y accesorios simples y de uso común
- Operación y mantenimiento, simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos.
- Amortiguamiento de picos hidráulicos, de cargas orgánicas y de compuestos tóxicos.
- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.

4.3.2 Desventajas

- Altos requerimientos de área.

- Efluente con elevado contenido de algas que al final del tratamiento se deberán remover del líquido.
- Su funcionamiento depende de las condiciones ambientales tales como la temperatura, la irradiación solar, la velocidad del viento, etc., que son propiedades aleatorias.
- Generación de malos olores y deterioro de la calidad del efluente

4.4 Optimización económica

La optimización económica de este sistema de tratamiento propuesto vendría a ser la posible reutilización del agua tratada, existen diferentes categorías en las cuales se podría reutilizar estas aguas, pero cada una tiene sus respectivas limitaciones.

Cuadro IV-2: Categorías de reutilización y sus limitaciones

Categoría de reutilización	Limitaciones
Riego en agricultura, riego de cultivos	Si la gestión no es adecuada, contaminación de aguas superficiales y subterráneas
Plantas comerciales	Comercialización de las cosechas y aceptación pública
Riego de espacios verdes	Efecto de la calidad de agua sobre el suelo y las cosechas (especialmente las sales)
Parques, patios de colegio, medianas de autopistas, campos de golf	Problemas de salud pública relacionados con la presencia de patógenos (bacterias, virus y parásitos)
Cementerios, zonas verdes, zonas residenciales	Control de la zona de utilización incluidos los espacios de amortiguamiento. Puede implicar elevados costes para los usuarios
Reciclaje y reutilización industrial, calderas, agua de proceso, construcciones pesadas	Presencia de constituyentes que puedan provocar problemas de corrosión, incrustaciones carbonatadas, crecimiento bacterianos y ensuciamiento de los sistemas
Refrigeración	Problemas de salud pública, especialmente la transmisión de patógenos por aerosoles en el agua de

	refrigeración
Recarga de aguas subterráneas, recarga de acuíferos, control de intrusión de aguas saladas, control de subsidencias	Compuestos químicos orgánicos presentes en el agua recuperada y sus efectos tóxicos. Presencia de sólidos sueltos, nitratos y patógenos
Usos recreativos/ambientales, lagos y estanques	Problemas de salud pública relacionados con bacterias y virus
Mejora de zonas pantanosas, incremento de los caudales de los cursos de agua	Eutrofización debido a la incorporación de nitrógeno y fósforo a las aguas receptoras
Piscifactorías	Toxicidad para la vida acuática
Fabricación de nieve artificial, usos urbanos no potables, protección contra incendios	Problemas de salud pública, relacionado con la transmisión de patógenos por aerosoles
Lavados, aire acondicionado	Efecto de la calidad del agua sobre la formación de costras carbonatadas, corrosión, crecimientos biológicos y fallos de los sistemas
Reutilización en usos potables, mezcla en depósitos de agua de abastecimiento, abastecimiento de agua directo	Presencia de constituyentes tales como los compuestos químicos orgánicos de trazas y sus efectos tóxicos, estética y aceptación pública, problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos especialmente de virus

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

4.4.1 Clasificación de cuerpos de agua según la Ley 1333

Según la ley 1333 la clasificación de cuerpos de agua, en relación con su aptitud de uso, obedece a los siguientes lineamientos:

- CLASE “A” Aguas naturales de máxima calidad, que las habilita como agua potable para consumo humano sin ningún tratamiento previo, o con simple desinfección bacteriológica en los casos necesarios verificados por laboratorio.
- CLASE “B” Aguas de utilidad general, que para consumo humano requieren tratamiento físico y desinfección bacteriológica.

- CLASE “C” Aguas de utilidad general, que para ser habilitadas para consumo humano requieren tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica.
- CLASE “D” Aguas de calidad mínima que, para consumo humano, en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de presedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por elevado contenido de sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales.

Tabla IV-6: Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua

Nº	Parámetros	Unidad	Cancerígenos	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
1	pH		NO	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
2	Temperatura	°C		(+/-) 3 °C de c. receptor	(+/-) 3 °C de c. receptor	(+/-) 3 °C de c. receptor	(+/-) 3 °C de c. receptor
3	Sólidos disueltos totales	mg/l		1000	1000	1500	1500
4	Aceites y grasas	mg/l	NO	Ausente	Ausente	0.3	1.00
5	DBO5	mg/l	NO	< 2	< 5	< 20	< 30
6	DQO	mg/l	NO	< 5	< 10	< 40	< 60
7	NMP Colifecales NMP	N/100ml	NO	< 50 y <5 en 80% muestras	< 1000 y <200 en 80% muestras	< 5000 y <1000 en 80% muestras	< 50000 y <5000 en 80% muestras
8	Parásitos	N/l		< 1	< 1	< 1	< 1
9	Color mg Pt/l	mg/l	NO	< 10	< 50	< 100	< 200
10	Oxígeno disuelto	mg/l	NO	>80% sat	> 70% sat	> 60 % sat	> 50% sat
11	Turbidez	NTU	NO	< 10	< 50	< 100 <2000***	< 200 – 10,000***
12	Sólidos sedimentables	mg/l-ml/l	NO	< 10 mg/l	30 mg/l – 0.1 ml/l	< 50 mg/l – <1 ml/l	100 mg/l – <1 ml/l
13	Aluminio	mg/l		0.2 c. Al	0.5 c. Al	1.0 c. Al	1.0 c. Al
14	Amoníaco	mg/l	NO	0.05c. NH ₃	1.0 c. NH ₃	2.0 c. NH ₃	4.0 c. NH ₃
15	Antimonio	mg/l	NO	0.01 c. Sb	0.01 c. Sb	0.01 c. Sb	0.01 c. Sb
16	Arsénico total	mg/l	SI	0.05 c. As	0.05 c. As	0.05 c. As	0.1 c. As
17	Benceno	ug/l	SI	2 c. Benceno	6.0 c. Benceno	10,0 c. Benceno	10,0 c. Benceno
18	Bario	mg/l	NO	1 - 0.05 c. Ba	1.0 c. Ba	2.0 c. Ba	5.0 c. Ba
19	Berilio	mg/l	SI	0.001 c. Be	0.001 c. Be	0.001 c. Be	0.001 c. Be
20	Boro	mg/l		1.0 c. B	1.0 c. B	1.0 c. B	1.0 c. B
21	Calcio	mg/l	NO	200	300	300	400
22	Cadmio	mg/l	NO	0.005	0.005	0.005	0.005
23	Cianuros	mg/l	NO	0.02	0.1	0.2	0.2
24	Cloruros	mg/l	NO	250 c. Cl	300 c. Cl	400 c. Cl	500 c. Cl
25	Cobre	mg/l	NO	0.05 c. Cu	1.0 c. Cu	1.0 c. Cu	1.0 c. Cu
26	Cobalto	mg/l		0,1 c. Co	0.2 c. Co	0.2 c. Co	0.2 c. Co
27	Cromo Hexavalente	mg/l	SI	0.05 c. Cr total	0.05 c. Cr +6	0.05 c. Cr +6	0.05 c. Cr +6

Nº	Parámetros	Unidad	Cancerígenos	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
28	Cromo Trivalente	mg/l	NO		0.6 c. Cr+3	0.5 c. Cr+3	1.1 c. Cr+3
29	1,2 Dicloroetano	mg/l	SI	10	10	10	10
30	1,1 Dicloroetano	mg/l	SI	0.3	0.3	0.3	0.3
31	Estaño	mg/l	NO	2.0 c. Sn	2.0 c. Sn	2.0 c. Sn	2.0 c. Sn
32	Fenoles	mg/l	NO	1.0 c. C ₆ H ₅ OH	1.0 c. C ₆ H ₅ OH	5.0 c. C ₆ H ₅ OH	10.0 c. C ₆ H ₅ OH
33	Hierro Soluble	mg/l	NO	0.3 c. Fe	0.3 c. Fe	1.0 c. Fe	1.0 c. Fe
34	Fluoruros	mg/l	NO	0.6–1.7 c. F	0.6–1.7 c. F	0.6–1.7 c. F	0.6–1.7 c. F
35	Fosfato total	mg/l	NO	0.4 c. Ortofosfato	0.5 c. Ortofosfato	1.0 c. Ortofosfato	1.0 c. Ortofosfato
36	Magnesio	mg/l	NO	100 c. Mg	100 c. Mg	150 c. Mg	150 c. Mg
37	Manganeso	mg/l	NO	0.5 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0 c. Mn	1.0c. Mn
38	Mercurio	mg/l	NO	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg	0.001 Hg
39	Litio	mg/l		2.5 c. Li	2.5 c. Li	2.5 c. Li	5.0 c. Li
40	Niquel	mg/l	SI	0.05 c. Ni	0.05 c. Ni	0.5 c. Ni	0.5 c. Ni
41	Nitrato	mg/l	NO	20 c. NO ₃	30 c. NO ₃	50 c. NO ₃	50 c. NO ₃
42	Nitrito	mg/l	NO	<1.0 c. N	1.0 c. N	1.0 c. N	1.0 c. N
43	Nitrógeno Total	mg/l	NO	5 c. N	12 c. N	12 c. N	12 c. N
44	Plomo	mg/l	NO	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.05 c. Pb	0.1 c. Pb
45	Plata	mg/l	NO	0.05 c. Ag	0.05 c. Ag	0.05 c. Ag	0.05 c. Ag
46	Pentaclorofenol	mg/l	SI	5	10	10	10
47	Selenio	mg/l	NO	0.01 c. Se	0.01 c. Se	0.01 c. Se	0.05 c. Se
48	Sodio	mg/l	NO	200	200	200	200
49	Sólidos Flotantes			Ausentes	Ausentes	Ausente	<Retenido malla 1 mm ²
50	Sulfatos	mg/l	NO	300 c. SO ₄	400 c. SO ₄	400 c. SO ₄	400 c. SO ₄
51	Sulfuros	mg/l	NO	0.1	0.1	0.5	1.0
52	S.A.A.M.(Detergentes)	mg/l		0.5	0.5	0.5	0.5
53	Tetracloroetano	ug/l	NO	10	10	10	10
54	Tricloroetano	ug/l	SI	30	30	30	30
55	Tetracloruro de Carbono	ug/l	SI	3	3	3	3
56	2,4,6 Triclorofenol	ug/l	SI	10	10	10	10
57	Uranio Total	mg/l		0.02 c. U	0.02 c. U	0.02 c. U	0.02 c. U
58	Vanadio	mg/l	NO	0.1 c. V	0.1 c. V	0.1 c. V	0.1 c. V
59	Zinc	mg/l	NO	0.2 c. Zn	0.2 c. Zn	0.2 c. Zn	0.2 c. Zn

Fuente: Ley 1333, Anexo 1-Cuadro A-1

Por el momento solo se tendría dos parámetros, coliformes fecales y DBO, para determinar el cuerpo de agua que sería el lixiviado al final el tratamiento. En base a los resultados teóricos de estos dos parámetros se podría decir que entraría en la categoría de cuerpo de agua “Clase C” en cuanto al DBO y “Clase A” en cuanto a coliformes fecales. Está claro que se necesitarían el análisis de otros parámetros que sean los más relevantes para la determinación del cuerpo del agua, pero de acuerdo a los dos parámetros que también son fundamentales se podría decir que entraría en la clase B la cual entra en la clasificación de utilidad general, por lo que se podría reutilizar para riego agrícola o de espacios verdes.

4.4.2 Riego agrícola y de espacios verdes

La calidad de agua de riego es especialmente importante en zonas áridas, en las que se producen altas velocidades de evapotranspiración como consecuencia de las temperaturas extremadamente altas y de la bajísima humedad existente. La evapotranspiración hace referencia al agua que se pierde por evaporación en el

terreno y en las aguas superficiales, y por la transpiración de las plantas. La calidad del agua de riego puede variar notablemente en función del tipo y cantidad de sales disueltas que contengan. Las consecuencias de la evapotranspiración son la deposición y acumulación en el suelo de las sales del agua aplicada. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo como son el grado de dispersión de las partículas del suelo, la estabilidad de los agregados, la estructura del suelo, y la permeabilidad, son propiedades sensibles a los iones intercambiables presentes en el agua de riego, por tanto, en los casos en los que se pretenda regar con agua residual recuperada, se deben tener en cuenta tanto las propiedades del suelo como las características de producción del cultivo.

4.4.2.1 Salinidad

La salinidad del agua de riego se determina midiendo su conductividad eléctrica, y es el parámetro de mayor importancia a la hora de determinar la aptitud de un agua para su uso en sistemas de riego. La conductividad eléctrica de un agua se utiliza como medida indirecta de su concentración de sólidos disueltos totales.

La presencia de sales afecta al crecimiento de las plantas debido a tres procesos:

1. Efectos osmóticos, provocados por la concentración total de sales en el agua del suelo.
2. Toxicidad de iones específicos, provocado por la concentración de un ion determinado.
3. Dispersión de las partículas de suelo, provocado por la presencia importante de sodio y por una baja salinidad.

Cuanto mayor es la salinidad del suelo en la zona, mayor es la cantidad de energía que deben consumir las plantas para ajustar la concentración de sales en el interior del tejido vegetal (ajuste osmótico) para conseguir el agua necesaria del suelo. Por lo tanto, hay menos energía disponible para el crecimiento de la planta.

4.4.2.2 Toxicidad de iones específicos

Los casos de reducción de la producción de un cultivo se deben a concentraciones excesivas de determinados iones y no únicamente a los efectos osmóticos se engloban dentro del fenómeno denominado “toxicidad de iones específicos”. La presencia de cloro, sodio y boro es la más problemática. Las fuentes de boro suelen ser los detergentes de uso doméstico. Las cantidades de cloro y sodio también aumentan como consecuencia de usos domésticos.

4.4.2.3 Velocidad de infiltración

Otro efecto indirecto del elevado contenido en sodio es el deterioro de la condición física del suelo, como las fisuras acumulaciones de agua o la reducción de su permeabilidad.

La excesiva reducción de la velocidad de infiltración puede provocar que no sea posible suministrar a los cultivos o vegetación las cantidades necesarias de agua para su crecimiento robusto. Además, los sistemas de riego con agua residual recuperadas suelen estar situados en suelo poco convenientes o en terrenos que ya presentan problemas de permeabilidad y de explotación. En estos casos puede ser necesario modificar la estructura del terreno mediante excavaciones y movimientos de tierras en las zonas afectadas.

4.4.2.4 Nutrientes

Los nutrientes presentes en las aguas residuales recuperadas actúan como fertilizantes en la producción de cultivos y espacios verdes. Sin embargo, en algunos casos en los que su contenido excede la demanda de las plantas, pueden provocar problemas. Los nutrientes de importancia en la gestión agrícola y de espacios verdes son el nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, el potasio, zinc, boro y azufre.

El nitrógeno presente en agua recuperada puede sustituir una cantidad equivalente de fertilizante comercial durante el comienzo y mitad del periodo de crecimiento. La presencia de exceso de nitrógeno en la última parte del periodo de crecimiento puede resultar negativa para muchos cultivos, provocando un excesivo crecimiento vegetativo, madurez retrasada o no uniforme, o un descenso de la calidad de cultivo.

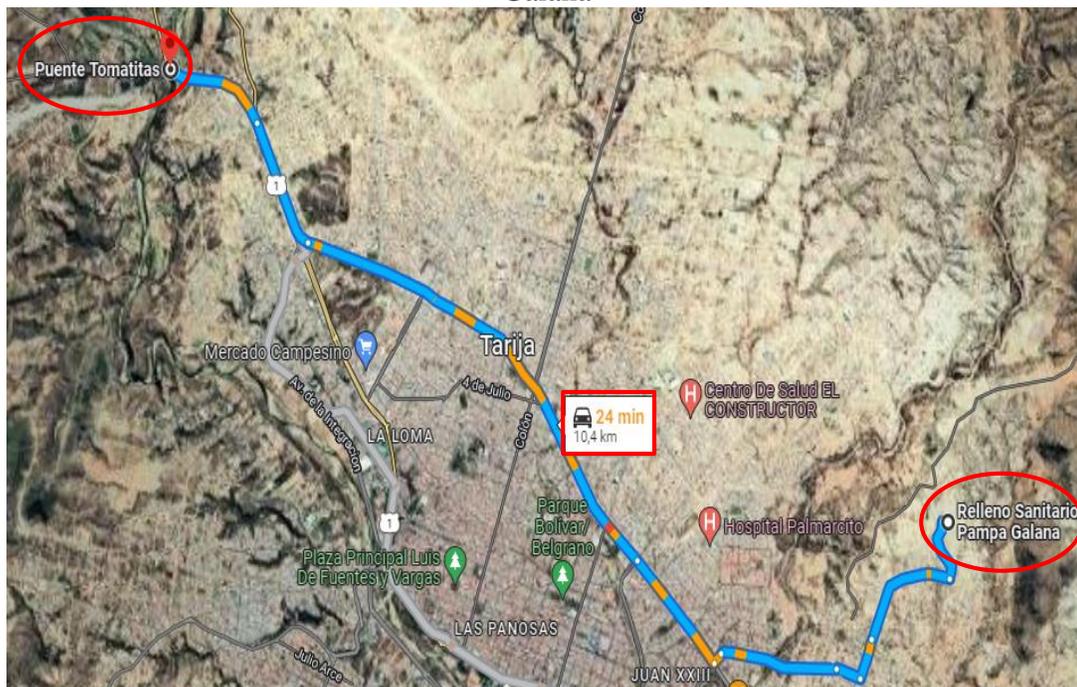
4.5 Análisis de rentabilidad

Al proponerse la reutilización del agua tratada para riego de áreas verdes, se podría evaluar la rentabilidad del presente proyecto mediante una comparación de los costos actuales de riego, como ser el costo de transporte de agua y de la cantidad de agua que se utiliza.

Gracias a la colaboración por parte del Ornato Público de Tarija se pudo obtener la información de que el lugar designado para la toma de agua de riego está ubicado en el puente de Tomatitas, y que hasta la comunidad de Pampa Galana el costo de transporte es de 250.00 Bs.

Como se ve en la figura 4.3 la distancia entre la toma de agua hasta la comunidad de Pampa Galana es de 10.4 kilómetros, por lo que podríamos decir que el costo por un kilómetro de distancia es de 24.03 Bs/Km.

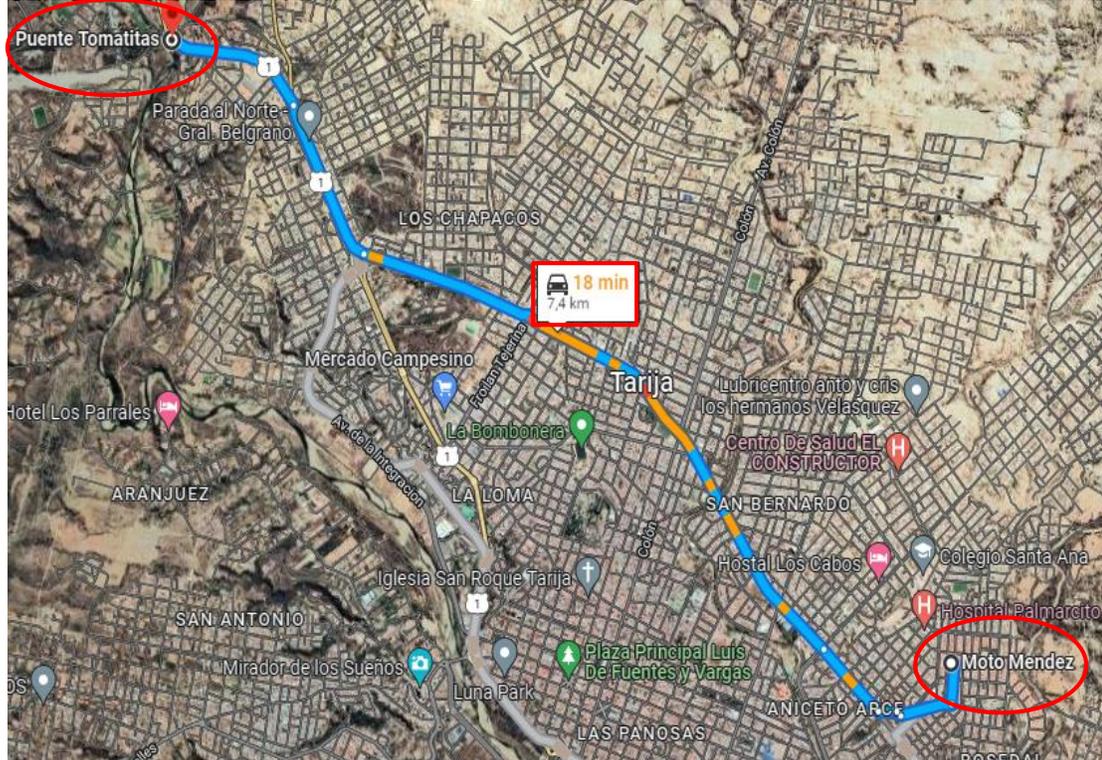
Figura 4-3: Distancia desde el puente de Tomatitas hasta la comunidad de Pampa Galana



Queda claro que si el punto de toma de agua para el riego de la comunidad de Pampa Galana sería en el relleno sanitario habría un ahorro en cuanto a los gastos de transporte, ya que la distancia de transporte se reduciría significativamente. Pero según la información obtenida por el Ornato Público la comunidad de Pampa Galana cuenta con muy pocos espacios verdes para regar por lo que se lo hace una vez cada mes, entonces otra zona alternativa podría ser el barrio de Moto Méndez que si cuenta con más espacios verdes para regar.

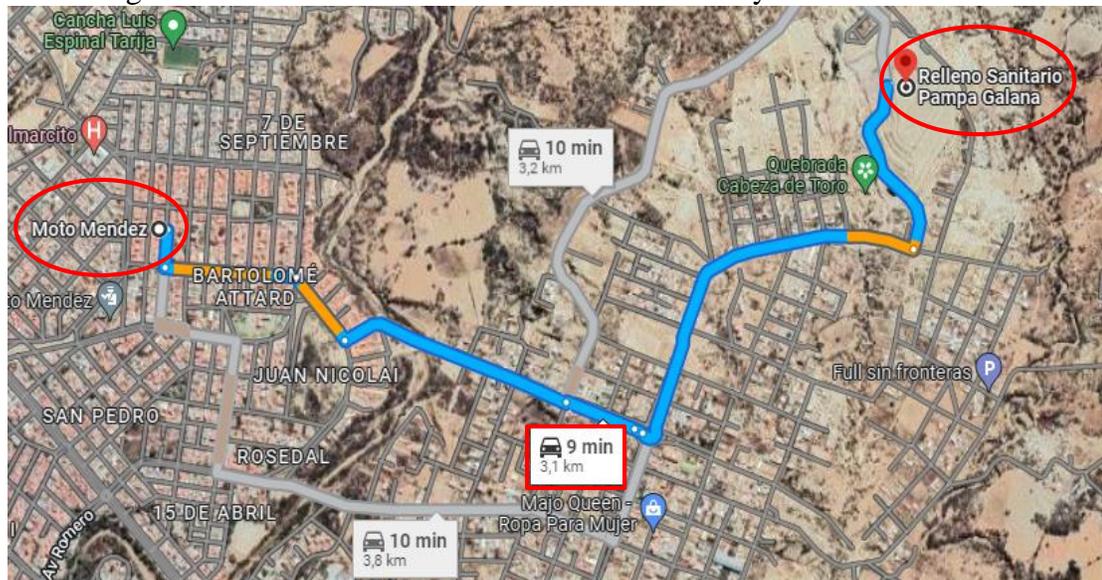
Como se muestra en la figura 4.4 la distancia entre la toma de agua y el barrio Moto Méndez es de 7.4 kilómetros, si utilizamos de referencia el costo de transporte hasta la comunidad de Pampa Galana se tiene un gasto de 177.82 Bs hasta el barrio de Moto Méndez.

Figura 4-4: Distancia entre el puente Tomatitas y el barrio Moto Méndez



En cambio, si se utilizaría el agua tratada del relleno sanitario para el riego de espacios verdes del barrio Moto Méndez se tendría una distancia de 3.1 kilómetros lo que implica un gasto de 74.493 Bs para el transporte, que sería un ahorro de casi el 50% del transporte desde el puente Tomatitas.

Figura 4-5: Distancia entre el barrio Moto Méndez y el relleno sanitario



4.5.1 Análisis del beneficio de reutilización de agua

Según la información del Ornato Público de Tarija, la capacidad de las cisternas que utilizan para riego de áreas verdes es de 1000 litros y lo que pagan por litro de agua en la toma del puente de Tomatitas es de 0.10Bs por lo que por cada cisterna serian 100.00Bs. Como el riego de áreas verdes se lo realiza tres veces por semana se obtendrían las siguientes ganancias:

Tabla IV-7: Beneficios de la reutilización de agua

Periodo de tiempo	Beneficio
Semanal	300.00Bs
Mensual	1 200.00Bs
Anual	14 400.00Bs

También se debe tomar en cuenta que no solo se emplea una cisterna para regar todas las áreas verdes del barrio Moto Méndez, por lo que se obtendrían mayores ingresos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Es de suma necesidad una optimización del sistema de tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario de Pampa Galana sobre todo porque el tiempo de vida del relleno sanitario concluyo en 2015, por lo que lleva más de 6 años en funcionamiento sin ninguna optimización o mejoramiento, y en base a las visitas hechas no se pudo observar que se haya realizado un mantenimiento a la única piscina de almacenamiento de lixiviados, lo que está ocasionando un impacto ambiental en la zona y perjudicando la calidad de vida de los habitantes.
- Según los técnicos de EMAT el sistema de tratamiento que se emplea actualmente en el relleno sanitario es mediante recirculación, pero de acuerdo a las visitas que se realizaron al relleno sanitario no se pudo observar dicho tratamiento, ya que generalmente se lo realiza mediante aspersores para transportar el lixiviado al interior de las capas de residuos sólidos. Por otro lado, puede que realicen este método mediante cisternas de manera periódica.
- Debido a la falta de un sistema de tratamiento optimizado el impacto ambiental provocado por los lixiviados cada vez va empeorando, el impacto en el suelo es el más predominante se puede ver como los lixiviados se infiltraron hasta la superficie debido al deterioro del sistema de drenaje ya que este se encuentra presionado por varias capas de residuos sólidos. Por otro lado, está la emanación de malos olores por la acumulación de lixiviados en la piscina de almacenamiento lo cual contamina el aire y perjudica la salud de las familias. También está el impacto hacia el agua tanto subterránea como superficial, al estar operando durante tantos años en estas condiciones los lixiviados ya deben de estar contaminando el agua de la quebrada San Pedro que se encuentra cerca del relleno sanitario.
- Los análisis realizados en CEANID y el laboratorio de COSAALT dieron resultados que no coincidían con los datos teóricos mostrados en la tabla I-2 de los parámetros de los lixiviados con el pasar de los años. Los datos obtenidos sobrepasan a los teóricos.
- Los datos de área y volumen de la piscina de almacenamiento de lixiviados que se tiene el relleno sanitario no están exactamente calculados, ya que solo cuentan con las medidas del largo y ancho superiores de la piscina y con eso calcularon el área al multiplicar ambas medidas y para el volumen multiplicaron esta área errónea con la profundidad, lo cual no es correcto debido a que la fórmula para el cálculo de área y de volumen de una pirámide truncada, que es la forma geométrica de laguna, también toma en cuenta el área de la parte de fondo.

- Para la selección del método más adecuado o factible se emplearon matrices de comparación y se llegó a optar por las lagunas de estabilización aerobias debido a que obtuvo un mayor puntaje. Los factores del entorno fueron los que tuvieron mayor relevancia para dicha selección, ya que la zona en donde se encuentra el relleno sanitario está cerca de las viviendas de los habitantes de Pampa Galana y lo que también se busca con esta propuesta es ya no empeorar la calidad de vida de las personas, al igual que con la calidad ambiental. Debido a que las lagunas anaerobias generan sulfuro de hidrogeno en estado gaseoso (H_2S) el cual, aparte de ser dañino para la salud, contribuye al efecto invernadero.
- Al emplear este nuevo tratamiento de lagunas de estabilización también se tendría una optimización económica, ya que el agua tratada podría reutilizarse como agua de riego ya sea para la zona de Pampa Galana u otras zonas cercanas. En base al balance hídrico se obtendría 2347.7 litros de agua y de acuerdo a la información obtenida de Obras Públicas Municipales de Tarija el costo por litro de agua es de 0.10Bs. El cual podría ser disminuido para generar un ahorro, claro que esto dependería de la dirección de EMAT. En caso contrario de no reducir el costo de todas formas se genera un ahorro en el transporte de agua ya que la actual toma de agua para riego está ubicada en el puente de Tomatitas y si el agua sería transportada desde el relleno a las zonas cercanas al mismo existe una gran reducción de distancia, como se vio en el capítulo del análisis económico.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a la dirección de la Entidad Municipal de Aseo de Tarija (EMAT) los siguientes aspectos:

- Tomar en cuenta el tiempo de retención hidráulico teórico calculado, que es de 99 días aproximadamente, para el retiro de los lodos que irán precipitando durante el tratamiento. Estos lodos deben ser llevados a un pozo en donde serán secados por la acción del sol y luego transportarlos nuevamente al interior del relleno sanitario para que sirvan como capa de cubrimiento de los residuos sólidos.
- Tomar en cuenta todas las indicaciones del mantenimiento de las lagunas para así preservar la eficiencia del tratamiento, ya que puede producirse un exceso de algas lo que perjudicaría el proceso. También se debe realizar el control de funcionamiento de las lagunas para poder evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento, este control es mediante el análisis de diferentes parámetros del agua tanto al inicio como al final del tratamiento.
- Realizar un análisis completo de todos los parámetros planteados por la Ley 1333, o los más relevantes, del efluente para poder tener una idea más clara de

a qué clase de cuerpo de agua pertenecería y así poder darle una reutilización para agua de riego de espacios verdes u otra que sea más adecuada.

- En caso de que el agua tratada cumpla con los parámetros permitidos para su reutilización, tener en mente todas las diferentes categorías en la cuales sea posible el rehúso y no solo limitarse al riego de áreas verdes. También tomar en cuenta todas las restricciones descritas en el cuadro IV-1 para cada categoría de reutilización.
- Se debe tomar en cuenta la pared perimetral propuesta en el capítulo 3 para cada laguna debido a que, si existe un rebalse por causa de una elevada precipitación pluvial el lixiviado sería arrastrado por el agua hacia fuera del relleno sanitario ocasionado un impacto ambiental lo cual haría que el sistema de tratamiento propuesto ya no sería eficiente.