

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL
PATIO TALLER DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE LIMA”

PRESENTADO POR:

VANESSA PRADO ORELLANA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

LIMA – PERÚ

2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por siempre guiar mi camino.

A mis padres y hermanos por ser mi motivación.

A mi patrocinadora Mg. Rosa Miglio Toledo por guiarme a lo largo de toda la investigación.

A mis compañeros del Proyecto Línea 1 del Metro de Lima, por todo el apoyo brindado.

A la corporación Graña y Montero por la confianza brindada para realizar la presente investigación

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Patio Taller de trenes de “La Línea 1 del Metro de Lima”, en el distrito de Villa El Salvador, durante los meses de Octubre del 2013 a Julio del 2014; y consistió en evaluar la disponibilidad de aguas residuales para su tratamiento y reúso en riego de áreas verdes.

El Patio Taller tiene zonas destinadas a áreas verdes que abarcan una superficie de 20,612 m², de las cuales solo el 31% recibe riego con agua potable. Debido a esto, se evaluaron las alternativas de aprovechamiento de agua residual para el riego.

Para la investigación se determinó la demanda de agua para riego, se analizó la calidad del agua residual mediante parámetros físicos, químicos y bacteriológicos (conductividad eléctrica, pH, temperatura, DBO, DQO, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, aceites y grasas, coliformes totales y coliformes fecales), se realizó el aforo de las redes de desagüe mediante los métodos del vertedero y volumétrico, se evaluaron las condiciones del entorno y la infraestructura del Patio Taller.

Finalmente se determinó la disponibilidad de las aguas residuales y se eligió la tecnología más adecuada para su tratamiento y reúso en el riego de áreas verdes. Debido a la limitada disponibilidad de terreno; se optó por una planta compacta de lodos activados con aireación extendida.

ABSTRACT

The following research was conducted in the train operative center of “La Línea 1 del Metro de Lima”, in the district of Villa El Salvador; during the months October, 2013 through July, 2014; and consisted of assessing the availability of wastewater for its treatment and reuse for irrigation of landscape areas.

The train operative center has areas intended for landscape purposes that comprise a total of 20,612 m², of which only 31% is irrigated with potable water. Based on this premise, alternatives to benefit from treated wastewater for irrigation were evaluated.

The water demand for irrigation was determined, the quality of wastewater was analyzed through physical, chemical and bacteriological parameters (electrical conductivity, pH, temperature, BOD, COD, total solids, suspended solids, settleable solids, oils and fat, total coliforms and fecal coliforms), the capacity of the sewer systems was determined by the weir and volumetric methods, and the environmental and infrastructure conditions of the train operative center were evaluated.

Finally, the availability of wastewater was determined, and the most appropriate technology for treatment and reuse to irrigate landscape areas was chosen. Due to the limited availability of land, we opted for a compact plant of activated sludge with extended aeration.

INDICE GENERAL

	PAG
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. AGUAS RESIDUALES	3
3.1.1. Definición	3
3.1.2. Clasificación de las aguas residuales	3
3.1.3. Composición de las aguas residuales	4
3.1.4. Características de las aguas residuales	5
3.1.4.1. Características Cuantitativas	5
3.1.4.2. Características Físicas	6
3.1.4.3. Características Químicas inorgánicas	7
3.1.4.4. Materia orgánica Agregada	9
3.1.4.5. Características Biológicas	10
3.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	11
3.2.1. Métodos de tratamiento de aguas residuales	11
3.2.1.1. Tratamiento Preliminar	12
3.2.1.2. Tratamiento Primario	16
3.2.1.3. Tratamiento Secundario	21
3.2.1.4. Tratamiento Terciario	29
3.2.1.5. Selección de los métodos de tratamiento	29
3.3. NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS	31
3.4. REÚSO DE AGUAS RESIDUALES	33
3.4.1. Consideraciones generales para el reúso en riego	33
3.4.2. Normativa internacional	34
3.4.3. Normativa nacional	36
3.4.4. Experiencias nacionales sobre tratamiento y reúso de aguas residuales	38

IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	40
4.1.	MATERIALES	40
4.1.1.	Ubicación	40
4.1.2.	Vías de comunicación y acceso	40
4.1.3.	Características físicas	41
4.1.4.	Información planialtimétrica	41
4.1.5.	Información meteorológica	41
4.1.6.	Situación actual del patio taller	42
4.1.7.	Materiales, equipos y programas	42
4.2.	MÉTODOS	43
4.2.1.	Diagnóstico de las áreas verdes	43
4.2.1.1.	Determinación de las áreas verdes potenciales	43
4.2.1.2.	Caracterización del suelo	44
4.2.1.3.	Estimación de las necesidades de agua del cultivo	44
4.2.1.4.	Estimación de la demanda de agua de las áreas verdes	46
4.2.2.	Diagnóstico del consumo de agua	47
4.2.3.	Diagnóstico del sistema de desagüe	48
4.2.3.1.	Aforo de caudales de desagüe	48
4.2.3.2.	Caracterización cualitativa del agua residual cruda	53
4.2.4.	Balance de la demanda de agua para riego y las aguas residuales disponibles	54
4.2.5.	Análisis de la disponibilidad de espacio	54
4.2.6.	Análisis y selección de las alternativas tecnológicas para el tratamiento de agua residual	54
V.	RESULTADOS	56
5.1.	DETERMINACIÓN DE ÁREAS VERDES Y DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO	56
5.1.1.	Superficie de áreas verdes	56

5.1.2.	Consumo actual de agua para riego	56
5.1.3.	Caracterización del suelo	56
5.1.4.	Demanda de agua para riego	58
5.2.	DIAGNÓSTICO DEL CONSUMO DE AGUA	61
5.3.	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE DESAGÜE	65
5.3.1.	Caracterización del agua residual	65
5.3.1.1.	Caudales de desagüe	66
5.3.1.2.	Caracterización cualitativa del agua residual disponible	67
5.4.	BALANCE DE LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO Y LAS AGUAS RESIDUALES DISPONIBLES	69
5.5.	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	69
5.6.	PROCESO DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL PATIO TALLER	70
5.6.1.	Ubicación y distribución del sistema de tratamiento	70
5.6.2.	Planteamiento del sistema de tratamiento y obras complementarias	71
5.6.3.	Descripción de los componentes del sistema de tratamiento	72
5.7.	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	77
5.8.	REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA	78
5.8.1.	Sistema de riego	78
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1.	CONCLUSIONES	79
5.2.	RECOMENDACIONES	81
VII.	BIBLIOGRAFÍA	82
VIII.	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla N°	Título	Pag.
1	Operaciones y procesos usados en el tratamiento de aguas residuales	12
2	Descripción de equipos de tamizado usados en el tratamiento de aguas Residuales	15
3	Información para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual	16
4	Procesos de lodos activados para comunidades pequeñas	24
5	Clasificación de Lagunas con base en la presencia y fuente de oxígeno	26
6	Ventajas y desventajas de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales	30
7	Directrices microbiológicas de la OMS para calidad de efluentes de agua residual tratada para riego	35
8	Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público	36
9	Normas de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos	36
10	Iniciativas privadas y municipales para el tratamiento de aguas residuales en Lima Metropolitana	38
11	Indicadores para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Patio Taller	55
12	Resultados del análisis de suelo	57
13	Resultados de la evapotranspiración de referencia	58
14	Resultados de evapotranspiración del cultivo (Césped)	59
15	Resultados de evapotranspiración del cultivo (Aptenia Cordifolia)	59
16	Datos para el cálculo de la demanda hídrica del Césped	59
17	Datos para el cálculo de la demanda hídrica de la Aptenia Cordifolia	60
18	Caudal promedio del agua residual del Patio Taller	67
19	Valores promedio de análisis fisicoquímico de la Red N°2	67
20	Resultados de los análisis bacteriológico de la Red N°2	68

21	Ponderación de Factores que influncian la selección de la tecnología de tratamiento de las aguas residuales del Patio Taller	69
22	Presupuesto de implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales del Patio Taller	77
23	Costo de operación y mantenimiento	77

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Título	Pag.
1	Composición de las aguas residuales domésticas	4
2	Clases de tamices usados en el tratamiento del agua residual	14
3	Esquema de clasificación de los procesos de lodos activados	
23		
4	Vías de acceso al Patio Taller	40
5	Ubicación de los puntos de aforo en el Patio Taller	49
6	Vertedero con escotadura de 90°	50
7	Vertedero con escotadura de 45°	50
8	Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales del Patio Taller	71

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°	Título	Pag.
1	Consumo mensual de agua para riego	12
2	Volumen de consumo mensual	62
3	Gasto mensual por servicio de agua y desagüe	62
4	Volumen mensual de agua según el uso en el Patio Taller	63
5	Distribución del uso del agua en el Patio Taller	63
6	Volumen de consumo anual según el uso del agua en el Patio Taller	64
7	Distribución anual de agua según el uso	64
8	Gasto anual según el uso de agua	65

I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua potable en la ciudad de Lima es limitada dada su ubicación en la franja costera del Perú, la cual presenta un clima árido y escasez del recurso hídrico. Esta situación es más evidente en los distritos periféricos de la capital como Villa El Salvador, donde existe un gran déficit de agua, lo cual impacta en la carencia de áreas verdes. Lima posee 2.9 m² de áreas verdes por habitante, (INEI 2008, Citado por Universidad Científica del Sur, 2010), valor insuficiente de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que propone un mínimo de 9 m² de áreas verdes por habitante para que una ciudad sea considerada saludable.

El Patio Taller de la Línea 1 del Metro de Lima ubicado en Villa El Salvador no escapa de esta realidad, pues el agua disponible no es suficiente para regar el 100% de zonas destinadas a áreas verdes. Solo se pueden mantener 6406 m² que se riegan con agua potable, el resto no tiene riego debido a los costos elevados del agua potable.

Dentro de este contexto, en la presente investigación se propuso recuperar el agua residual generada por el Patio Taller para tratarla y reusarla, de tal manera de generar un ahorro representativo en el consumo de agua potable. Para ello se realizó el diagnóstico de aguas residuales disponibles y posteriormente se evaluaron las alternativas más favorables para su tratamiento.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la disponibilidad de las aguas residuales en el Patio Taller de la Línea 1 del Metro de Lima, con fines de tratamiento y reúso para el riego de áreas verdes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnóstico de la disponibilidad de aguas residuales en el Patio Taller de la Línea 1 del Metro de Lima.
- Caracterizar las aguas residuales disponibles en el Patio Taller.
- Estimar la demanda de agua para el riego de las áreas verdes del Patio Taller.
- Analizar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales del Patio Taller y el reúso en riego de áreas verdes.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. AGUAS RESIDUALES

3.1.1. Definición

De acuerdo a Mara (1976), citado por Mendonça (2000), las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado. Romero (2002), señala que se les llama también aguas negras o aguas cloacales.

3.1.2. Clasificación de las aguas residuales

Mendonça (1987), señala que las aguas residuales de acuerdo a su origen se pueden clasificar en:

Domésticas: aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de las descargas de las instalaciones hidráulicas de la edificación y también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

Industriales: residuos líquidos generados en los procesos industriales, poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

Infiltración y caudal adicional: aguas de infiltración que penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, cajas de paso, estructuras de los pozos de registro, estaciones de bombeo, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de distintas fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

Pluviales: aguas de lluvias descargadas en grandes cantidades sobre el suelo. Parte de estas aguas son drenadas y otras escurren por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo.

3.1.3. Composición de las aguas residuales

El Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), menciona que las aguas negras o residuales contienen sólidos disueltos y sólidos en suspensión. La cantidad de sólidos es muy pequeña, casi siempre menor a 0.1 por ciento en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados, en la Fig. N° 1 se muestra la composición general de las aguas residuales domésticas.

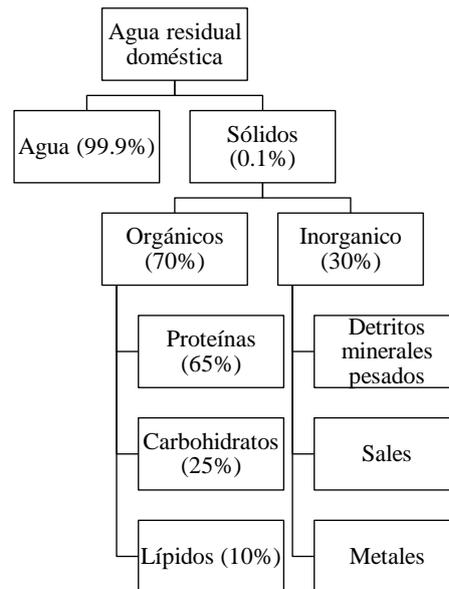


Figura N° 1: Composición de las aguas residuales domésticas

Fuente: Tebbutt (1977) citado por Mendonça (2000)

Los sólidos en las aguas residuales

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su estado físico: sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos.

Sólidos orgánicos: son de origen animal o vegetal, incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Contienen carbono, hidrogeno y oxígeno, pudiendo estar combinados algunos con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos; además son combustibles, es decir pueden ser quemados.

Sólidos inorgánicos: Son sustancias inertes y no sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones, pueden descomponerse en sustancias más simples, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales, por lo general no son combustibles.

3.1.4. Características de las aguas residuales

Hanai (1997) citado por Mendonça (2000), menciona que las características de las aguas residuales son determinadas a partir de una secuencia de procedimientos que incluyen mediciones locales de caudal, colección de muestras y análisis e interpretación de los resultados obtenidos. El conjunto de esas actividades se denomina caracterización cualitativa y cuantitativa de aguas residuales.

3.1.4.1. Características cuantitativas

Mendonça (2000), afirma que la contribución de las aguas residuales domésticas depende fundamentalmente del sistema de suministro de agua. El agua usada en las viviendas es encaminada posteriormente a las instalaciones prediales, dirigiéndose luego a las redes de alcantarillado. Por lo tanto, hay una nítida correlación entre consumo per cápita del agua de algunos establecimientos comerciales e institucionales.

El consumo per cápita es un parámetro variable que depende de diversos factores, Tsutiya y Além Sobrinho (1999) citan los principales:

- Hábitos higiénicos y culturales de la población.
- Cantidad de micromedición del sistema de suministro de agua.
- Instalaciones y equipos hidráulico-sanitarios de los inmuebles.
- Control ejercido sobre el consumo.
- Valor de la tarifa y existencia o no de subsidios sociales o políticos.
- Abundancia o escasez de manantiales.
- Intermitencia o regularidad del abastecimiento de agua.
- Temperatura media de la región
- Renta familiar
- Disponibilidad de equipos domésticos que utilizan agua en cantidad apreciable.

- Índices de industrialización.
- Intensidad y tipo de actividad comercial.

3.1.4.2. Características físicas

De acuerdo con Crites y Tchobanoglous (2000), las principales características físicas del agua residual son las siguientes:

Sólidos

El agua residual contiene sólidos que varían de tamaño, forma y composición. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar sólidos en la muestra.

Turbiedad

La turbiedad es un parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. El material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa.

Color

El color de las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

Olor

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable (olor a huevo podrido), es el sulfuro de hidrogeno.

Temperatura

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura.

Densidad

La densidad del agua residual, se define como su masa por unidad de volumen y se expresa como g/l o kg/m^3 en medidas del sistema internacional (SI). La densidad es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corrientes de densidad de sedimentadores, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento.

Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). En la actualidad, la CE es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de un agua para riego; es así como la salinidad de determinada agua residual tratada que se desea usar para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica.

3.1.4.3. Características químicas inorgánicas

pH

La expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución se da en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. Ronzano y Dapena (2002), mencionan que en las aguas residuales urbanas el pH varía entre 6.5 y 8.

Nitrógeno

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes.

Fósforo

El fósforo también es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y de escorrentía natural.

Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio.

Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que ellas hacen contacto. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden provenir de la intrusión de las aguas salinas y salobres.

Azufre

El ion sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrogeno (H_2S) al combinarse con el hidrógeno.

Metales

Todos los organismos vivos requieren para su adecuado crecimiento elementos como hierro, cromo, cobre, cinc, cobalto en cantidades diferentes cantidades (macro y micro). Aunque las cantidades macro y micro de metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, estos elementos pueden llegar a ser tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas.

Gases

La medición de gases disueltos tales como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno, se realiza para controlar y monitorear los procesos de tratamiento biológico aerobio.

3.1.4.4. Materia orgánica agregada

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas residuales o desechos, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964). El cálculo de la DBO es un método usado con frecuencia en el campo del tratamiento de las aguas residuales; consiste en determinar la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada. La prueba estándar para medir la DBO se conoce como la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días y a 20°C (DBO₅).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es una prueba para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido. Según Ronzano y Dapena (2002), la DQO representa o traduce una oxidación química pero no una oxidación biológica, y permite, por su relación con la DBO una estimación rápida de la degradabilidad del agua residual.

Carbono Orgánico Total (COT)

El COT es una prueba usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa y así medir su polución. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de estos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono, el cual se mide con un analizador infrarrojo o por otros medios.

Grasas y aceites

El contenido de grasas y aceites (de origen animal y vegetal) en aguas residuales se determina por extracción de la muestra de residuo con triclorotrifluoroetano.

Debido a sus propiedades, la presencia de estos compuestos pueden causar serios problemas en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, por ello, la formación de natas sobre la superficie de los tanques debe ser removida periódicamente para no causar fallas en los componentes de dichos sistemas.

3.1.4.5. Características biológicas

Bacterias

Microorganismos procariotas que presentan tamaños micrométricos (entre 0,5 y 5 μm de longitud) y diversas formas. Son ubicuas, se encuentran en todos los hábitats terrestres y acuáticos; crecen hasta en los medios más extremos como en los manantiales de aguas calientes y ácidas, y en desechos radioactivos.

Muchas clases de bacterias inofensivas y patógenas son frecuentemente expulsadas en las heces de los individuos, contaminando así las aguas residuales con gran cantidad de microorganismos.

Protozoos

Organismos microscópicos, unicelulares eucariotas; que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces. Los sistemas de desinfección de agua donde se emplea cloro y radiación UV, no garantizan su efectiva destrucción.

Helmintos

Los más importantes parásitos helmínticos que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales. La etapa infecciosa de algunos helmintos es el estado adulto o de larva y en otros la etapa infecciosa es el estado de huevo.

Virus

Los virus infectan todos los tipos de organismos, desde animales y plantas, hasta bacterias y arqueas. Más de 100 clases diferentes de virus entéricos capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad son excretados por el hombre. Crites y Tchobanoglous (2000) menciona que los rotavirus y virus Norwalk son los principales patógenos de origen hídrico.

3.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales o aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, de esta manera, el resto de los sólidos orgánicos complejos quedan convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completado el proceso de tratamiento, es aún necesario eliminar los líquidos y los sólidos que se hayan separado, Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964). Asimismo, la finalidad del tratamiento de aguas residuales es reducir las características no deseables del agua, para cumplir con las normas de descarga o de reutilización.

3.2.1. Métodos de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales tienen como base procesos físicos, químicos y biológicos que reproducen en corto tiempo, y en un espacio reducido, las etapas que ocurren en los procesos naturales de autodepuración de los ecosistemas acuáticos. El conjunto de esos procesos se verifica en el interior de reactores, generalmente en serie, que constituyen los procesos unitarios del tratamiento de las aguas residuales, de esta forma se puede lograr la destrucción o remoción de los organismos patógenos.

3.2.1.1. Tratamiento preliminar

Este tratamiento está destinado a la preparación de las aguas residuales para su disposición o tratamiento subsecuente; consta de la separación de residuos sólidos, grasas y en algunos casos un proceso de pre-aireación. En la Tabla N° 1 se identifican las principales operaciones y procesos del tratamiento preliminar.

Tabla N° 1: Operaciones y procesos usados en el tratamiento preliminar de aguas residuales

Operación/proceso	Aplicación/ocurrencia	Tamaño de partícula afectada ¹
Dilaceración	Usada para cortar o triturar partículas grandes que no son removidas por el tamizado grueso, y así obtener partículas de menor tamaño y más uniformes	6 mm
Filtración (como pretratamiento de procesos con membranas y desinfección)	Remoción de partículas que afectan el desempeño de los procesos aguas abajo	0.015-0.5 mm
Flotación	Remoción de partículas con gravedad específica menor a la del agua	0.005-5 mm
Homogeneización de caudales	Empleado para mantener constante el caudal y las características del agua residual	
Remoción por gravedad	Remoción de sólidos sedimentables y material flotante	>0.040 mm
Remoción por sedimentación acelerada	Remoción de arenas	0.15-1.0 mm
Remoción de arenas	Remoción de gravas, arenas y cenizas, generalmente a continuación de la dilaceración	0.15-1.0 mm
Tanque Imhoff	Usado para la remoción de material suspendido de las aguas residuales por sedimentación y flotación	<0.040 mm
Filtración por membrana (como pretratamiento para ósmosis inversa)	Usada para la remoción de material coloidal y subcoloidal	0.06-100 µm
Mezcla	Empleado para mezclar aditivos químicos y homogeneizar materiales de desecho	
Remoción de grasas y aceites	Remoción de grasas y aceites provenientes de vertimientos particulares	
Filtración del afluyente primario (FEP)	Usado para la remoción de material suspendido después de la sedimentación primaria	0.005-4 mm
Tamizado grueso	Utilizado para la remoción de palos, trapos y demás escombros presentes en el aguas residuales crudas	>15 mm
Tamizado fino	Remoción de partículas pequeñas	2.5-5.0 mm
Microtamizado	Remoción de partículas pequeñas	0.15-1.5 mm
Tanque séptico	Utilizado en la remoción de material suspendido presente en aguas residuales residuales por sedimentación y flotación	>0.040 mm

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

¹ Todas las partículas no se mueven igual. Puede ocurrir remoción accidental de partículas más pequeñas

El material sólido presente en el agua residual generalmente está compuesto de arenilla y detritus, los cuales pueden obstruir o dañar los componentes de los procesos del sistema de tratamiento. Según Arundel (2002), la arenilla es el material inorgánico cuyas dimensiones están comprendidas entre 0.1 mm de diámetro y 1 cm³ de volumen, dicho material puede estar compuesto de limo, arena, sedimentos y gravillas. El origen de esta arenilla se halla comúnmente en el agua de escurrimiento y en la erosión del sistema de alcantarillado. Por otro lado, los detritus son el conjunto de materiales sólidos de tamaño no pequeño, trozos de madera, textiles, plásticos y basura en general, que se recoge por separado antes de retirar la arenilla.

El tratamiento preliminar comprende una serie de procesos mediante los cuales se van a retirar los sólidos indeseables, las cribas para separar desechos varían desde las abiertas, o rejillas (con más de 50 mm entre barras), hasta las cerradas o finas (entre 1 y 2 mm). En la Fig. N° 2 se muestra las dimensiones generales de la separación entre barras para el tamizado grueso y el diámetro de los orificios para el tamizado fino.

Remoción de aceites y grasas

Las grasas y aceites junto con los sólidos suspendidos, tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la capacidad de infiltración del terreno. Además, ocasionan graves problemas debido a su persistencia. Para evitar los problemas que ocasionan, tanto en unidades de sistemas descentralizados de tratamiento como en sistemas de disposición, la concentración de grasas y aceites en el efluente de estos sistemas debe ser menor a 30 mg/L. Lo recomendable para la separación de aceites y grasas son dispositivos que consigan una flotación efectiva con un periodo de retención adecuado (normalmente mayor a 30 minutos). Para la remoción local, el mercado ofrece un gran número de trampas de grasas y aceites, sin embargo la eficiencia de estos equipos está limitada por cortos tiempos de retención. Para descargas de restaurantes, el uso de tres unidades de remoción en serie (p.ej. trampas de grasas o tanques sépticos) proporciona una efectiva separación de grasas y aceites, Crites y Tchobanoglous (2000).

Cribado fino

Según Crites y Tchobanoglous (2000), el tamizado fino puede remover desde sólidos gruesos y finos en aguas residuales crudas, hasta la remoción de sólidos suspendidos en efluentes de procesos biológicos de tratamiento. También se han utilizado como unidades que reemplazan a los tanques de sedimentación primaria. Los tres tipos de tamices finos más usados son: tamiz de malla inclinada con forma de cuña, tamiz de tambor rotatorio y tamiz de disco rotatorio. En la Fig. N° 2, se muestra las dimensiones generales de los orificios para tamices finos.

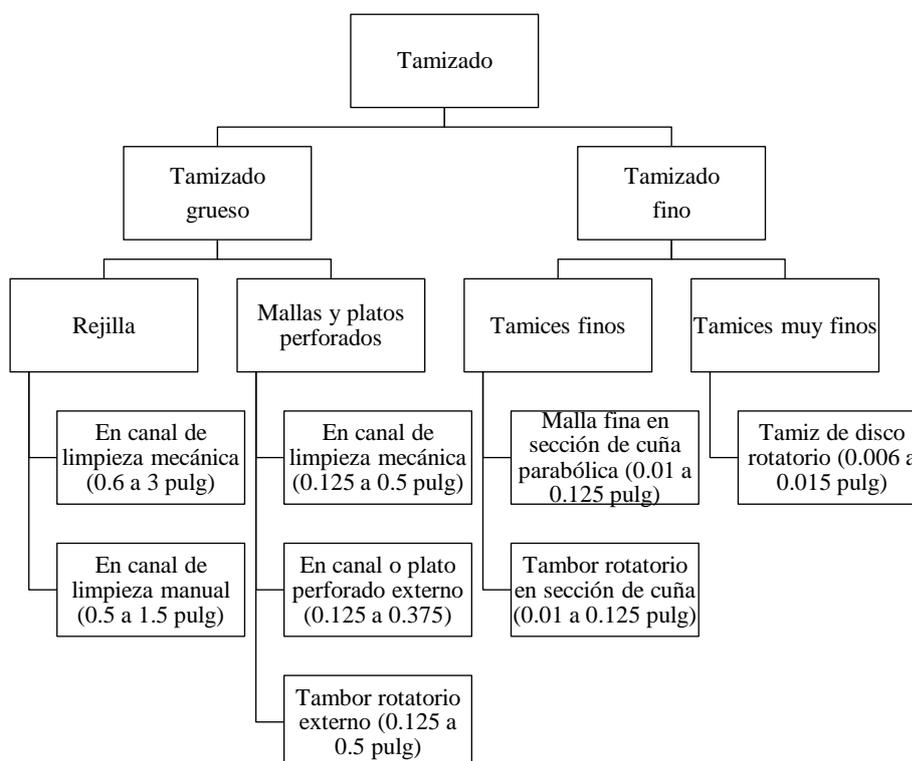


Figura N° 2: Clases de Tamices usados en el tratamiento del agua residual

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

Cribado grueso

Se le denomina también tamizado grueso, es por lo general la primera operación unitaria dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales. En este proceso se emplean, equipos para interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda; estos equipos constan de barras o varillas paralelas, o de alambres de tamaño uniforme, en la Tabla N° 2 se muestra las clases de equipos usados en el tamizado.

Tabla N°2: Descripción de equipos de tamizado usados en el tratamiento de aguas residuales

Clase de equipo por tamaño	Clasificación	Abertura del tamiz		Material	Aplicación
		Pulg	Mm		
Rejillas (limpieza manual y mecánica)					
Rejilla de limpieza manual	Grueso	1.0-2.0	25-50	Barrotes	Remoción de sólidos suspendidos gruesos y como tratamiento preliminar en la remoción de sólidos finos
Rejilla de limpieza mecánica	Grueso	0.6-3.0	15-75	Barrotes	Ver aplicación anterior
Rejillas finas o tamiz perforado (limpieza mecánica)					
Rejilla fina	Fino-Grueso	0.125-0.5	3-12.5	Barrotes delgados	Tratamiento preliminar
Plato perforado	Fino-Grueso	0.125-0.375	3-9.5	Plato perforado	Tratamiento preliminar
Tambor rotatorio	Fino-Grueso	0.125-0.5	3-12.5	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Tamiz fino (limpieza mecánica)					
Parabólico fijo	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Tambor rotatorio	Fino	0.01-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento preliminar
Disco rotatorio	Muy fino (micro)	0.006-0.015	0.15-0.38	Tela de acero inoxidable	Tratamiento preliminar

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

El tamiz compuesto de varillas se llama rejilla, en los procesos de tratamiento del agua residual las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños y obturaciones ocasionados por objetos de gran tamaño. En la Tabla N°3 se muestra información usual para el diseño de rejillas. De acuerdo al método de limpieza las rejillas se clasifican como de limpieza manual o mecánica. Las de limpieza manual se usan con frecuencia en plantas de tratamiento pequeñas, mientras que las de limpieza mecánica emplean cadenas sin fin, cables o mecanismos con ruedas dentadas reciprocantes, que mueven un rastrillo empleado para remover los residuos acumulados en la rejilla.

El tamizado grueso genera pérdidas hidráulicas, las cuales se pueden estimar por medio de la siguiente ecuación, Metcalf y Eddy (1930) citados por Crites y Tchobanoglous (2000).

$$hL = \frac{1}{0.7} \left(\frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

Donde:

hL = pérdida de carga, pies (m)

0.7= coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos.

Tabla N° 3: Información para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra:			
Ancho	Pulg	0.2-0.6	0.2-0.6
Profundidad	Pulg	1.0-1.5	1.0-1.5
Espaciamiento entre barras	Pulg	1.0-2.0	0.6-3.0
Inclinación con la vertical	grad.	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	Pie/s	1.0-2.0	2.0-3.25
Pérdidas admisibles	Pulg	6	6

Fuente: Tchobanoglous y Burton (1991)

3.2.1.2. Tratamiento primario

Tiene por objeto la remoción de sólidos sedimentables y parte de la materia orgánica. Puede incluir la sedimentación o flotación de partículas suspendidas.

El Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), menciona que el tratamiento primario generalmente elimina entre 40 y 60 por ciento de sólidos suspendidos y disminuye entre el 25 y 35 por ciento aproximadamente la DBO, así como el material que flota en las aguas residuales.

Los dispositivos que se usan para la sedimentación en el tratamiento primario reducen la velocidad del flujo. Las alcantarillas poseen una velocidad promedio de 60 cm/seg, la cual es apropiada para arrastrar con las aguas negras todos los sólidos y prevenir que se depositen en las líneas del alcantarillado. En el tratamiento preliminar se disminuye esta velocidad hasta unos 30 cm/seg durante un lapso corto de tiempo, durante el cual se depositan los sólidos inorgánicos más pesados. En el tratamiento primario la velocidad de flujo se reduce hasta 1 o 2 cm/seg en un tanque de asentamiento o sedimentación, durante el tiempo suficiente, para dejar que se deposite la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente de aguas negras. La flotación es otra forma de separación por gravedad en la cual las partículas

con peso específico menor al del agua flotarán, y serán removidas por barrido de la superficie.

Teoría de la sedimentación

Arundel (2002), menciona que en el proceso de sedimentación, el efluente ingresa al depósito, ya sea continuamente o por lotes, y allí, las condiciones de baja velocidad de flujo y suficiente tiempo de retención, permiten que las partículas sólidas caigan por gravedad y formen un lodo subyacente. La capa líquida clarificada en la parte superior, sobrenada; rebosa o se decanta como efluente para descarga o para recibir un tratamiento posterior.

La velocidad de sedimentación en una partícula es función, principalmente, de tres factores:

- 1) el tamaño
- 2) la diferencia de densidad entre la fase líquida y la sólida
- 3) la viscosidad del líquido

Factores matemáticos de la ley de Stokes:

$$U = \frac{gD^2(d_1 - d_2)}{18u}$$

La sedimentación de partículas no floculentas se puede analizar por medio de la ley de Stokes.

Donde:

U=velocidad final de la partícula en su caída
g= aceleración de la gravedad
D= diámetro de la partícula
d₁= densidad de la partícula
d₂= densidad del fluido
u= viscosidad del fluido

Se tiene, en consecuencia, que la velocidad de sedimentación varía directamente con el cuadrado del diámetro de la partícula, y, si el fluido es agua y d₂ vale 1, varía con la densidad de la partícula. La ley de Stokes se aplica a partículas discretas, regulares, esféricas, no a formas como las que suelen adoptar casi todos los sólidos de los lodos, y

especialmente las fibras, cuyas velocidades de sedimentación son enormemente menores de lo que preconiza la teoría.

Principales dispositivos para el tratamiento primario

A. Lagunas anaerobias

Crites y Tchobanoglous (2000) mencionan que las lagunas anaerobias se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica. Generalmente se usan como una primera etapa de depuración en lugares ubicados en zonas apartadas o con disponibilidad de grandes espacios. Estas lagunas no cuentan con zonas aerobias, su profundidad varía entre 5 y 10 m. y su tiempo de retención va de 20 a 50 días. Como consecuencia de la generación potencial de malos olores, las lagunas anaerobias requieren ser cubiertas o aisladas de zonas pobladas.

Si se tiene agua freática en un nivel alto, o si existe la posibilidad de contaminar corrientes de agua vecinas, no es recomendable utilizar el sistema de lagunas, a menos que se pueda impermeabilizar el fondo con geomembrana o arcilla.

Si en una instalación industrial se cuenta con suficiente terreno, construir una laguna es una buena opción para disminuir los niveles de sólidos en suspensión, y la calidad del efluente puede mejorar considerablemente.

Se han usado lagunas en industrias de papel y del cemento para recoger sólidos inorgánicos, con éxito. En explotaciones agrícolas y ganaderas también dan buen resultado cuando se aceptan los malos olores desprendidos en la descomposición del lodo orgánico, para el tratamiento de aguas domésticas se ubican en lugares alejados a las viviendas.

B. Depósitos de sedimentación rectangulares

Según Crites y Tchobanoglous (2000), en los sedimentadores horizontales predomina el flujo horizontal (a diferencia del flujo radial que se da en sedimentadores circulares). Los sedimentadores rectangulares cuentan con sistemas para recolección de lodo sedimentado, los cuales pueden ser barredores con cadenas o de puente móvil.

Actualmente, salvo en las mayores estaciones de depuración, se usan poco estos depósitos; por el contrario, si se ven frecuentemente en industrias en las que no tiene mucha importancia quitar el lodo del depósito de forma periódica. Su construcción es más fácil que los de forma circular.

Según Arundel (2002), los depósitos modernos acostumbran tener una proporción entre anchura y longitud de 1:2 y 1:4, llevan un deflector a la entrada y el suelo en ligera pendiente hacia el extremo de descarga del efluente, para facilitar el flujo de lodo a un transportador o hasta un pozo. Otro diseño pide construir el suelo en forma de V y con un canal al centro.

C. Tanques de sedimentación circulares

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), los tanques de sedimentación son los principales dispositivos para el tratamiento primario, en ocasiones tienen la función adicional de servir para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados, lo cual se conoce como digestión de lodos.

El flujo en los tanques circulares es de tipo radial, para lograr este tipo de flujo, el agua a tratar se introduce en el sedimentador por el centro o por la periferia del tanque. Ambas configuraciones de flujo promueven por lo general resultados satisfactorios, aunque el sistema de alimentación central es el más usado.

El diseño de tanques circulares ha llegado a ser común en las plantas depuradoras de agua cloacal. La planta es circular y la proporción diámetro/profundidad cubre el intervalo de 3:1 a 8:1. En la base del depósito se crea una pendiente, de la periferia al centro, hasta de 30°, con la mira de facilitar que fluya el lodo a una tolva colectora central, desde la cual se puede extraer con bomba, o por diferencia de presión hidrostática, Arundel (2002).

D. Tanques sépticos

De acuerdo con el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), el tanque séptico es uno de los dispositivos más antiguos de tratamiento primario. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y en condiciones anaerobias, por un periodo de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del

tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque. Debido a los largos periodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

Los tanques sépticos se emplean comúnmente en residencias aisladas, en pequeñas instituciones o escuelas, donde puede disponerse del afluente del tanque por el método subsuperficial o cuando el factor de dilución en aguas receptoras es muy alto. En estas condiciones, tienen la ventaja de requerir un mantenimiento mínimo, bastando solamente una limpieza ocasional de lodos y natas.

E. Tanques Imhoff

Estos tanques se idearon para corregir algunos defectos del tanque séptico. El tanque Imhoff es un tipo de tanque de doble función, recepción y procesamiento para aguas residuales. Generalmente se ven tanques Imhoff en forma rectangular pero también los hay en forma circular, siempre disponen de una cámara o cámaras superiores por las que pasan las aguas negras en su período de sedimentación, además de otra cámara inferior donde la materia recibida por gravedad permanece en condiciones tranquilas para su digestión anaeróbica. De la estructura del tanque se obtienen varias ventajas:

1. Los sólidos sedimentables alcanzan la cámara inferior en menor tiempo.
2. La forma de la ranura y de las paredes inclinadas que tiene la cámara acanalada de sedimentación, fuerza a los gases de la digestión a tomar un camino hacia arriba que no perturba la acción sedimentadora.

Es recomendable iniciar la operación de un tanque de Imhoff en la primavera o a principios de verano, cuando la temperatura en el compartimiento de lodos es lo suficientemente alta para promover una digestión rápida. No habiendo partes mecánicas en un tanque Imhoff, debe prestarse atención al correcto mantenimiento.

3.2.1.3. Tratamiento secundario

Según Mendonça (2000), el tratamiento secundario se destina a la degradación biológica de los compuestos carbonosos. Cuando se lleva a cabo esa degradación, ocurre naturalmente la descomposición de carbohidratos, aceites, grasas y proteínas a compuestos más simples, como CO_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 , H_2S , etc., dependiendo del tipo de proceso predominante. Por otro lado, las bacterias que efectúan el tratamiento se reproducen, y su masa total aumenta en función de la cantidad de materia degradada, es decir, con el tratamiento hay disminución de la materia orgánica y hay producción de lodo.

Cuando se emplea el proceso aerobio, por cada kg de DBO removido, se forma cerca de 0.4 a 0.7 kg de lodo (materia seca) y cuando se emplea el proceso anaerobio, se tiene una producción de 0.02 a 0.2 kg de lodo por cada kg de DBO removido, Campos (1994).

Según Romero (1999), existen dos grandes tipos de actividad biológica que ejecutan los organismos en la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales: oxidación aerobia y oxidación anaerobia.

Tratamiento anaerobio

La oxidación anaerobia se define como aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO_2 , como aceptador de electrones.

Tratamiento aerobio

Se conoce también como respiración aerobia, se usa oxígeno molecular disuelto como aceptador final de electrones.

La oxidación biológica aerobia es la conversión bacteriana de los elementos, de su forma orgánica a su forma inorgánica altamente oxidada, en un proceso conocido también como "Mineralización".

La mayoría de las plantas de tratamiento construidas alcanzan apenas el tratamiento secundario, pero en muchas situaciones es obligatorio que el tratamiento alcance el

nivel terciario. El efluente del tratamiento secundario aún posee nitrógeno y fósforo en cantidad, concentración y formas que pueden provocar problemas en el cuerpo receptor, dando origen al fenómeno denominado eutrofización, que es percibido por la intensa proliferación de algas.

Tecnologías para el tratamiento secundario de aguas residuales

Como ya se ha mencionado, el tratamiento secundario convencional se usa principalmente para remover DBO soluble y sólidos suspendidos, para ello se utilizan tecnologías de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas, humedales artificiales, sedimentación, entre otros.

A. Lodos activados

El sistema de lodos activados fue descubierto por Arden y Lockett, alrededor del año 1913, y constituyó una verdadera revolución tecnológica para el tratamiento de las aguas residuales.

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1964), el lodo activado es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas residuales, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. La eficacia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

El agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los floculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, para luego ser recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. La mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tienen doble función: producir mezcla completa y agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

Este proceso puede ser considerado como autodepuración acelerada, reforzada y controlada artificialmente. Los fenómenos que se presentan son exactamente los mismos que en los ríos o lagos naturales, pero en los tanques de aireación los organismos se agrupan apretadamente en un espacio reducido y en gran número.

Mendonça (2000), asegura que el sistema de lodos activados presenta varias ventajas, como la elevada eficiencia de remoción de la DBO, la flexibilidad operacional y la posibilidad de remoción de nutrientes, pero presenta algunos aspectos negativos como el elevado consumo de energía eléctrica, los costos elevados de implantación y mantenimiento, la operación sofisticada y la elevada producción de lodo.

De acuerdo con Crites y Tchobanoglous (2000), los tipos principales de lodos activados usados para poblaciones pequeñas (menos de 0.01 a 5 Mgal/d) son variaciones del proceso de aireación extendida. En la Fig. N°3 se muestra la clasificación de los procesos de lodos activados, mientras que en la Tabla N°4 se describe los procesos de lodos activados para poblaciones pequeñas. Dentro de la categoría de aireación extendida hay varios procesos que pueden operar de modo cíclico y ser usados para la remoción biológica de nutrientes.

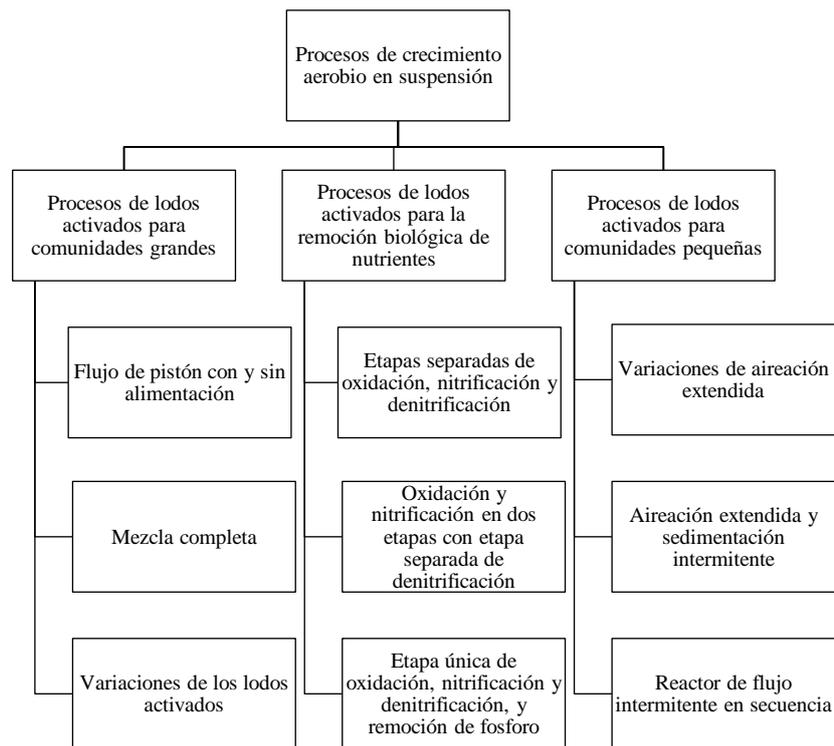


Figura N°3: Esquema de clasificación de los procesos de lodos activados.

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

Tabla N°4: Procesos de lodos activados para comunidades pequeñas

Proceso	Descripción
Estabilización por contacto	Para el tratamiento de las aguas residuales y la estabilización del lodo activado, la estabilización por contacto utiliza dos tanques separados o compartimientos. El lodo activado estabilizado se mezcla con el agua residual afluyente (bien sea cruda o sedimentada) en un tanque de contacto. El licor mezclado sedimentado en un tanque de decantación secundario y el lodo de retorno se airean por separado en un tanque de reaeración para estabilizar la materia orgánica. Las necesidades del volumen de aireación son en general 50% menos que con el flujo de pistón convencional.
Aireación extendida	El proceso de aireación extendida es similar al proceso convencional de flujo de pistón excepto que éste opera en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, la cual requiere una carga orgánica baja y un tiempo de aireación largo. El proceso se usa extensivamente para las plantas compactas prefabricadas para caudales pequeños.
Zanjón de oxidación	El zanjón de oxidación consiste en un canal de forma redonda u oval con equipos mecánicos de aireación. Al zanjón entra el agua residual filtrada, se airea y circula a cerca de 0.8 y 1.2 pies/s (0.25 a 0.35m/s). Este tipo de proceso opera en general a modo de aireación extendida con tiempos largos de retención para los sólidos. Para la mayoría de las aplicaciones se usan tanques de sedimentación secundarios.
Aireación extendida y sedimentación intermitente	Es un reactor sencillo en el cual ocurren todos los pasos del proceso de lodos activados. El flujo hacia el reactor es continuo comparado con el reactor de flujo intermitente en secuencia. Dado que el licor mezclado permanece en el reactor durante todos los pasos del tratamiento, no se necesitan instalaciones secundarias de sedimentación separadas. La purga de lodo ocurre durante la etapa de aireación del ciclo.
Reactor de flujo intermitente en secuencia	El reactor de flujo intermitente en secuencia es un sistema de reactor de tipo llenado y vaciado en el que participan uno de dos reactores de mezcla completa dentro de los cuales ocurren todas las etapas del proceso de lodos activados. Dado que el licor mezclado permanece en el reactor durante todos los pasos de tratamiento, no se necesitan instalaciones separadas de sedimentación secundaria. En general se usan reactores en secuencia.

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

B. Filtros percoladores

Se conocen también como filtros biológicos o biofiltros. Como medio de filtración se puede utilizar gravilla, pizarra, coque, carbón, y trozos de plástico rígido, de alrededor de 2m de profundidad, y con el material graduado cuidadosamente en tamaños desde 25 hasta 150 mm de diámetro, poniendo el tamaño mayor en el fondo, se construye todo el lecho, con desagüe inferior. Así dispuesto, permite que el aire fluya libremente de abajo hacia arriba a través de todo el filtro por convección natural, mientras el líquido permea

hacia abajo por gravedad. El tiempo de retención dentro del lecho filtrante es en general de 20 a 35 minutos, consiguiéndose de 80 a 90% de eliminación de sólidos. Los filtros de alto rendimiento no tienen más que 10 minutos de retención, por lo cual la eficacia de eliminación de sólidos es inferior, Arundel (2002).

Los filtros percoladores, se alimentan únicamente con aguas negras sedimentadas o con efluentes industriales que ya han pasado por una sedimentación inicial, debido a que los contenidos elevados de sólidos pueden obstruir los brazos distribuidores, y cegar la superficie superior del medio filtrante.

Como en todas las unidades de tipo biológico, la temperatura les afecta; por eso, el clima frío abate la actividad biológica del filtro. Estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa

El mantenimiento de los filtros tiene como operación principal la de desatascar los orificios de distribución en los brazos, introduciendo una varilla por el tubo que constituye el brazo y haciéndola girar en toda la longitud del brazo; tarea cotidiana si el nivel de sólidos es superior a 250 mg/L.

C. Sistema de lagunas

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, las lagunas son excavaciones con profundidad variada; realizadas en un terreno para el tratamiento de aguas residuales. Según Crites y Tchobanoglous (2000), las lagunas se clasifican teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto (nivel de aerobividad), y la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales. En la Tabla N° 5 se muestra los 4 tipos de lagunas más importantes, clasificadas de acuerdo a la concentración y fuente de oxígeno.

Otro método de clasificación que incluye todos los tipos de lagunas se basa en la frecuencia y duración de la descarga del efluente. De acuerdo con este enfoque las lagunas se clasifican en:

- Lagunas de retención Total
- Lagunas con descarga controlada
- Lagunas con descarga de control hidrológico
- Lagunas con descarga continua

Tabla N°5: Clasificación de las lagunas con base en la presencia y fuente de oxígeno

Clase de Lagunas	Presencia de oxígeno
Aerobio	La fotosíntesis suministra el oxígeno necesario para mantener condiciones aerobias en toda la columna de agua
Facultativa	La zona superficial es aeróbica
Aireada con mezcla parcial	La aireación superficial produce una zona aerobia que puede alcanzar la totalidad de la profundidad, dependiendo del ingreso de oxígeno y de la profundidad de la laguna

Fuente: Crites y Tchobanoglous (2000)

La tecnología de tratamiento con Lagunas se utiliza principalmente en comunidades pequeñas; sin embargo, las lagunas aireadas y facultativas son de uso frecuente en comunidades medianas

Lagunas aerobias

Son lagunas que permiten la penetración de la luz del sol en toda la columna de agua. Tienen gran actividad fotosintética durante las horas de luz solar; su profundidad varía entre 0.3 y 0.6m., las lagunas diseñadas para aumentar la actividad fotosintética de las algas se denominan lagunas de alta tasa. El oxígeno producido por las algas permite a las bacterias degradar en forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, durante las horas de luz solar, el oxígeno y el pH aumentan alcanzando valores máximos; mientras que en las horas de oscuridad dichos parámetros disminuyen en forma considerable respecto del valor máximo. Los tiempos de retención de estos sistemas son cortos (en promedio 5 días), su aplicación se limita a climas cálidos y soleados, Crites y Tchobanoglous (2000).

Lagunas facultativas

Son las más usadas y versátiles entre los tipos de lagunas; su profundidad varía entre 1.5 y 2.5 m y se conocen también como *lagunas de estabilización*, Crites y Tchobanoglous (2000).

Este tipo de lagunas puede recibir aguas residuales crudas o decantadas, ya sea el efluente de una laguna anaerobia, un digestor anaerobio de flujo ascendente o un

alcantarillado decantado, por lo tanto pueden funcionar como tratamiento primario o secundario.

Según Mendonça (2000), las lagunas facultativas tienen una capa aerobia superficial, una zona facultativa intermedia y una capa anaerobia en el fondo. Los procesos de oxidación bacteriana convierten el material orgánico en dióxido de carbono, amonio y fosfatos. En estas lagunas existe una relación mutualista entre las algas y las bacterias, sin embargo, algunos géneros de algas son capaces de metabolizar directamente materia orgánica. El oxígeno disuelto producido en las capas superiores de la laguna facultativa depende de la fotosíntesis y de la reaireación superficial a través de la interfaz aire/agua, debido a la agitación mecánica de los vientos.

Laguna aireada con mezcla parcial

Las lagunas aireadas con mezcla parcial son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que una laguna facultativa. El suministro de oxígeno se realiza por medio de aireadores mecánicos flotantes o difusores de aire sumergidos. Tienen una profundidad que varía entre 2 y 6 m, y se diseñan con un bajo tiempo de retención (3 a 20 días). La principal ventaja de una laguna aireada radica en que se requiere menor área que otros sistemas de lagunas.

D. Humedales artificiales

Los humedales artificiales, también llamados pantanos artificiales son zonas construidas por el hombre, que se pueden usar como sistemas locales de tratamiento o como sistemas locales de disposición y reutilización. En estos sistemas se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de depuración de aguas que ocurren normalmente en los humedales naturales. Con esta tecnología de tratamiento es posible eliminar microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, metales pesados entre otros contaminantes.

Según Romero (2002), los humedales son áreas que se encuentran saturadas por agua superficial o subterránea, con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. y plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos, etc.

El tratamiento de agua residual en humedales artificiales es esencialmente biológico, la depuración ocurre de manera natural mediante la actividad metabólica de bacterias y plantas.

De acuerdo al sentido de circulación del flujo de agua existen 2 tipos de humedales artificiales:

Humedales de flujo superficial

Es un sistema que se alimenta de agua residual de manera continua, utiliza plantas emergentes y generalmente se implementa en espacios abiertos y zonas vegetadas.

El sistema de flujo superficial está conformado por lagunas o canales de profundidad variable (0.4 a 1.58 m), generalmente se emplea para el tratamiento secundario o terciario de efluentes, y de esta manera completar la depuración lograda por otros procesos, pueden ser instalaciones pequeñas o de gran extensión. Las especies más utilizadas en este tipo de sistemas son la Lenteja y el Jacinto de agua.

Humedales de Flujo Subsuperficial

Los Humedales de Flujo Subsuperficial pueden servir a unidades habitacionales unifamiliares, instalaciones públicas y parques, apartamentos y centros comerciales, Burgan y Sievers (1994), Reed (1993), citados por Crites y Tchobanoglous (2000).

Este sistema se caracteriza por que la circulación del agua en el humedal se realiza a través de un medio granular subterráneo (sustrato), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial se pueden clasificar en dos tipos, de acuerdo a la forma de aplicación de agua al sistema:

- Humedales de flujo subsuperficial horizontal: El agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros. Este sistema se construye con una ligera inclinación (1 a 3 %) entre la entrada y la

salida, el agua fluye horizontalmente a través de la rizósfera de las plantas del pantano.

- Humedales de flujo subsuperficial vertical: El agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. El efluente no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. Se suelen incluir tubos de aireación para favorecer las condiciones aerobias. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.

3.2.1.4. Tratamiento terciario o avanzado

El tratamiento terciario tiene como fin remover la carga orgánica y aquellos elementos contaminantes tales como nitrógeno, fósforo, metales, etc.; que no fueron eliminados en el tratamiento secundario. Los procesos que se desarrollan durante este tipo de tratamiento son de naturaleza biológica y/o físico químico. El tratamiento terciario se aplica de acuerdo a la calidad requerida del producto y a la finalidad de disposición o reúso.

Entre los procesos que se desarrollan en el tratamiento avanzado se tienen: Desinfección, Filtración, Coagulación y floculación, Nitrificación y desnitrificación, Remoción de fósforo, adsorción, intercambio iónico, ósmosis inversa, desinfección, etc., Montoya (2007).

3.2.1.5. Selección de los métodos de tratamiento

Según Romero (1999), en la concepción y planeamiento de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias mínimas y, eventualmente, motivaciones ecológicas.

De acuerdo con Crites y Tchobanoglous (2000), la elección de los métodos y procesos de tratamiento depende de los constituyentes a remover y del grado de remoción de los mismos. En la Tabla N° 6 se presentan las ventajas y desventajas de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales.

Tabla N° 6: Ventajas y desventajas de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales

Proceso de Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Fosa Séptica	<ul style="list-style-type: none"> - Apropiaada para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc - Su limpieza no es frecuente - Costos bajos en construcción y operación - Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Su uso es limitado (máx, 350 habitantes) - Su uso también es limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permite disponer adecuadamente los efluentes en el suelo - Se requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bomba de vacío, etc)
Tanque Imhoff	<ul style="list-style-type: none"> - Impide arrastre de sólidos en el efluente - Menor tiempo de retención - Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos - Impide arrastre de sólidos en el efluente 	<ul style="list-style-type: none"> - La acumulación de sólidos suspendidos tiene un efecto adverso en las características hidráulicas y de transferencia de masa. - No son adecuados para AR con alto contenido de sólidos en suspensión - Requiere de disposición periódica de biomasa - Con tiempo de retención hidráulicos relativamente cortos se reduce la capacidad de resistir choques orgánicos
Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	<ul style="list-style-type: none"> - Soporta altas cargas orgánicas - Bajo requerimiento de energía - No requiere medio de soporte - Construcción relativamente simple - Aplicable a pequeña y gran escala - Operación comparativamente simple respecto a filtros y lodos activados 	<ul style="list-style-type: none"> - Requerimiento de inóculo de determinadas características - Sensible a sólidos suspendidos, grasas y aceites en el efluente - Sensible a bajas temperaturas - Riesgo de flotación de sólidos durante el arranque - Arranque lento sino se cuenta con el inóculo adecuado - Sensibilidad a cambios bruscos de carga y temperatura
Sistema de Lodos Activados Convencional	<ul style="list-style-type: none"> - Alta calidad del efluente tratado debido al control de flujo de A.R, el oxígeno y la densidad bacteriana (lodo activado) - Mayor eficiencia en el tratamiento comparada con los lechos biológicos, debido a la mayor independencia de la temperatura (flexibilidad operacional) - Menor área comparada a la requerida por los filtros biológicos - Periodo más corto de arranque (menos de dos semanas) en comparación con el de lechos biológicos (4 a 6 semanas) - No produce olores desagradables ni atrae moscas 	<ul style="list-style-type: none"> - Requerimiento de energía para la aireación - Altos costos de operación y mantenimiento - Necesidad de utilizar personal operador especializado - Sistema sensible a sobre cargas y cambios bruscos en la calidad del afluente - Necesidad de un completo control operacional (análisis de laboratorio frecuentes, medición de flujos, etc.)

Filtros percoladores o rociadores	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita de equipos para suministro de oxígeno - Baja producción de lodos - Menor área superficial de construcción, considerando la alta producción de biomasa generada en la gran área superficial de contacto del medio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Estructuras altas (más de 3 m) que generalmente obligan a bombear las AR desde el sedimentador - Área superficial relativamente grande - Puede existir problemas de olor, especialmente en las temporadas más cálida
Lagunas de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> - Puede recibir y retener cantidades de AR, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas con mayor flexibilidad, comparativamente con otros tratamientos - Formación de biomasa más efectiva y variada que en otros procesos de tratamiento - No requiere de instalaciones complementarias para la producción de oxígeno. El mismo se produce en forma natural dentro del sistema. - Debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la retención de bacterias, virus y parásitos, comparativamente con otros tratamientos. - Mínimo mantenimiento - No requiere de personal calificado 	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de larvas de mosca, que desarrolladas en exceso pueden obstaculizar el proceso de clarificación y crear molestias en las viviendas vecinas - Necesita de mayores áreas de terreno
Humedales artificiales	<ul style="list-style-type: none"> - logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento - los humedales filtran y sedimentan los sólidos remanentes del tratamiento previo, complementando esta remoción 	<ul style="list-style-type: none"> - Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento. - El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración - mediano requerimiento de terreno

Fuente: Guía de Identificación, Formulación, y Evaluación Social de Proyectos de Saneamiento Básico Ámbito de Pequeñas Ciudades a Nivel de Perfil – SNIP

2007

3.3. NECESIDADES DE AGUA EN LOS CULTIVOS

Cuantificar las necesidades o el consumo de agua en los cultivos es fundamental para planificar y programar el riego.

Evapotranspiración del cultivo o uso consuntivo

La evapotranspiración o uso consuntivo del agua es la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo.

Cabe distinguir dos formas de evapotranspiración:

- Evapotranspiración de referencia. Es la cantidad de agua consumida, durante un determinado periodo de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua.
- Evapotranspiración real. Es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo durante el periodo de tiempo determinado.

Para determinar la evapotranspiración del cultivo se utiliza el método FAO propuesto por Doorembos y Pruitt (1977), en el que la evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la siguiente relación:

$$ETc = ETo \times Kc$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

La determinación de la evapotranspiración de referencia (máxima o potencial), se realiza a partir de datos climáticos, empleando fórmulas empíricas, tales como Penman – FAO, Penman – Montheith, Hargreaves, Blaney – Criddle; Priestly – Taylor, Radiación, etc, calibradas localmente.

3.4. REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

3.4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL REÚSO EN RIEGO

El reúso de aguas residuales tratadas es una actividad que se viene practicando con mayor frecuencia en todo el mundo. En la actualidad las instituciones peruanas gubernamentales, no gubernamentales y organismos internacionales fomentan el reúso de agua residual tratada debido a la creciente escasez de agua, la necesidad de cuidar el medio ambiente, y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Los tipos y aplicaciones del reúso de aguas residuales se clasifican de acuerdo con el sector que recibe el beneficio, los principales usos son: el agrícola, siendo la irrigación de cultivos la actividad con mayor demanda de agua en todo el mundo, el industrial, y el urbano para el riego de áreas verdes.

En Lima, gran cantidad de áreas verdes son regadas con agua potable; actividad contradictoria ante la escasez del recurso hídrico, además, esto se convierte en una limitante en épocas de verano, ya que las plantas requieren mayor dotación de agua, lo cual se refleja en un mayor gasto. Por ello, el riego en esta época resulta deficiente y las áreas verdes sufren de estrés hídrico. Debido a esta problemática, muchas organizaciones y usuarios particulares han visto conveniente tratar sus aguas residuales y reusarlas para el riego de áreas verdes.

Las aguas residuales que se aprovechan para el riego de áreas verdes; generalmente provienen de residencias, instituciones públicas o privadas, establecimientos comerciales e industriales, o la mezcla de todas ellas. Estas aguas contienen cierta cantidad de nutrientes, sin embargo, al no ser tratadas presentan un peligro para el medio ambiente y la salud del hombre.

Según Montoya (2007), las aguas residuales presentan algunos elementos que limitan su uso en riego, los cuales se mencionan a continuación:

Sólidos en suspensión: la acumulación de estas diminutas piezas da lugar a depósitos de lodos que generan condiciones anaeróbicas en el suelo, pudiendo además provocar obturación en sistemas de riego tecnificado.

Materia orgánica biodegradable: la presencia de proteínas, carbohidratos y grasas en, generan necesidades de oxígeno disuelto, que al no ser satisfechas dan lugar al desarrollo de condiciones sépticas.

Patógenos: la presencia de virus, bacterias, protozoos o helmintos, da lugar a un riesgo para la salud humana, a través del contacto directo con áreas regadas con aguas residuales.

Nutrientes: los elementos como fósforo, nitrógeno, o potasio, favorecen el desarrollo de las plantas, ya que el agua residual es *fertilizada*, pero una carga excesiva podría provocar efectos nocivos para el terreno.

Materia orgánica no biodegradable: los productos tóxicos no degradados por los sistemas de tratamiento, tales como fenoles, pesticidas y órganoclorados, pueden dañar la fisiología de las plantas.

pH: el pH del agua residual puede alterar el equilibrio del suelo.

Metales pesados: los vertidos industriales, sobre todo, pueden aportar al agua metales como cadmio, mercurio, zinc y otros, cuya presencia reduce la aplicabilidad para riego de las aguas residuales por sus efectos tóxicos para las plantas.

Conductividad eléctrica: una excesiva salinidad derivada de la presencia de iones Na, Ca, Mg, Cl, o B, puede producir daños a los cultivos y provocar problemas de permeabilidad y pérdida de fertilidad en el suelo.

3.4.2. Normativa internacional

Organización Mundial de la Salud (OMS)

La OMS es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con competencia en materia de salud internacional y salubridad pública. Para llevar a cabo esta responsabilidad, reúne cada cierto tiempo expertos internacionales en el ámbito de Aguas residuales para establecer directrices de calidad de efluentes tratados para riego.

En las Tablas N° 7 y N° 8 se muestran las recomendaciones establecidas por la OMS para el reúso de aguas residuales en riego, mientras que en la Tabla N° 9 se muestran las

normas establecidas por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos.

Tabla N °7: Directrices microbiológicas de la OMS para calidad de efluentes de agua residual tratada para riego

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo Expuesto	Nematodos Intestinales ¹ Número de Huevos/L ² (Media Aritmética)	Coliformes Fecales NMP/100 mL ² (Media Geométrica)	Tratamiento necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos deportivos, parques públicos ³	Trabajadores, consumidores público	≤1	≤1000 ³	Serie de estanques de estabilización diseñadas para alcanzar la calidad microbiológica indicada o un tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles ⁴	Trabajadores	≤1	No se recomienda ninguna norma	Tiempo de retención hidráulica por 8 a 10 días en lagunas de estabilización, o su equivalente en remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Pretratamiento según lo requiera la técnica de riego, no menos de sedimentación primaria

Fuente: Organización Mundial de la salud (1989)

¹ En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo con ello.

² Especies de Áscaris, Trichuris y Anquilostomas.

³ Durante el periodo de riego.

⁴ Conviene establecer una directriz más estricta (≤200 NMP/100ml coliformes fecales) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.

⁵ En el caso de árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de la cosecha de los frutos y ningún fruto debe ser recogido del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Tabla N° 8: Recomendaciones de la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público

Indicadores microbiológicos	Contacto público	
	Directo	No directo
Nematodos intestinales (media aritmética huevos/L)	<1	<1
Coliformes fecales (media geométrica/100 mL)	200	1000
Tratamiento recomendado	Estanques de estabilización o equivalente ¹	
Grupo expuesto	Trabajadores, público	Trabajadores, público

Fuente: Organización Mundial de la Salud (1989)

¹ Cuatro a seis estanques de estabilización con tiempo mínimo de retención de 20 d a T>20°C

Tabla N° 9: Normas de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) para el riego de parques, campos deportivos, zonas verdes y otros usos

Tipo de reutilización	Tratamiento	Calidad	Distancia de seguridad
Riegos de parques, campos de golf, cementerios, lavados de coches	Secundario, filtración, desinfección	pH=6-9 <10 mg/L DBO ¹ <2UNT 0CF/100 mL 1mg/L ClO ₂	A 15 m de fuentes o pozos de agua potable
Riego de árboles y parques con acceso público prohibido o infrecuente	Secundario, desinfección	pH=6-9 <30 mg/L DBO 30mg/L SS 0 CF/100 mL 1 mg/L ClO ₂	A 90 m de fuentes o pozos de agua potable

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (1992)

¹ DBO Demanda bioquímica de oxígeno. UNT Unidades nefelométricas de turbiedad. SS Sólidos suspendidos. CF Coliformes fecales.

3.4.3. Normativa nacional

A nivel nacional no existe normativa que regula el reúso del agua residual. La Ley de Recursos Hídricos señala que para autorizar el reúso del agua, y mientras no exista normativa nacional, se deben usar las directrices de la Organización Mundial de la Salud.

A continuación se mencionan artículos de la Ley de Recursos Hídricos, relacionados al vertimiento y reúso de agua residual.

Marco legal

Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338 (publicada en el 2009)

Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

Artículo 80°.- Autorización de vertimiento

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva.

Artículo 82°.- Reutilización de agua residual

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.

Artículo 83°.- Prohibición de vertimiento de algunas sustancias

Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La Autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece los criterios y la relación de sustancias prohibidas.

3.4.4. Experiencias nacionales sobre tratamiento y reúso de aguas residuales

Moscoso (2011), menciona que en la década de los 80 aparecieron las primeras experiencias privadas de tratamiento y reúso de aguas residuales, que desarrollaron el Club de Golf de Lima y el Campo Santo Jardines de La Paz, seguidas luego por otros dos clubes de golf y el Colegio Particular La Inmaculada. Estas iniciativas privadas se basaron en el uso de plantas medianas de lagunas de estabilización, que luego en dos casos fueron transformadas en lagunas aireadas para evitar problemas de olores. Solo la planta de los Jardines de La Paz fue concebida bajo un sistema de lodos activados.

Según Moscoso (2011), las iniciativas municipales comenzaron en la década de los 90 con la Alameda de la Juventud en Villa El Salvador y la Avenida Universitaria en Carabayllo. Además la planta de Surco que fue instalada por ese municipio para tratar el agua del río Surco, fuertemente contaminada con desagües y residuos sólidos. En la mayoría de los casos son plantas compactas de lodos activados, salvo el de las lagunas aireadas en los parques zonales y las facultativas en el Balneario de Punta Hermosa, también existen experiencias de humedales artificiales. Los municipios han desarrollado algunas iniciativas pilotos de tratamiento de aguas residuales con el propósito de resolver el limitado y costoso abastecimiento de agua para el riego de sus áreas verdes. Sin embargo, muestran como principales debilidades en muchas de las plantas la aplicación de tecnologías no validadas y una deficiente operación y mantenimiento, condiciones que no garantizan la calidad exigida para tal uso. En la Tabla N° 11 se muestran las iniciativas privadas y municipales para el tratamiento de aguas residuales en Lima.

Tabla N° 10. Iniciativas privadas y municipales para el tratamiento de aguas residuales en Lima Metropolitana

Nombre	Operador	Tecnología	Caudal (l/s)
<i>Privados</i>			
Club Golf de Lima	Empresa Club Golf de Lima	Lagunas aireadas	15
Jardines de la Paz	Empresa Jardines de la Paz	Lodos activados	5.25
Club Golf La Planicie	Empresa Club de Golf La Planicie	Lagunas aireadas	15
Club Golf Los Incas	Empresa Club de Golf Los Inkas	Lagunas facultativas	15
Inmaculada	Colegio La Inmaculada	Lagunas facultativas	4.51
<i>Municipios</i>			
El Mirador	Municipalidad Distrital de Ventanilla	Humedales artificiales	3.55
Avenida Universitaria	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lodos activados	3

Callao	Municipalidad Provincial del Callao	Lodos activados – AGAR	13.9
Manco Capac	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	3
Sinnchi Roca	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	25
Yoque Yupanqui	Municipalidad de Lima Metropolitana	Lagunas aireadas	4
Miraflores	Municipalidad Distrital de Miraflores	Filtros percoladores	0.9
Paseo del Bosque	Municipalidad Distrital de San Borja	Lodos activados	2
Surco	Municipalidad Distrital de Surco	Lodos activados	17.5
Alameda Solidaridad	Municipalidad Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados	6
Alameda de la Juventud	Municipalidad Distrital de Villa El Salvador	Lodos activados	5
Oasis de Villa	Municipalidad Distrital de Villa El Salvador	Humedal artificial	0.2
Huerto Comunal	Municipalidad Distrital de Villa María del Triunfo	Lodos activados	2
Punta Hermosa	Municipalidad Distrital de Punta Hermosa	Lagunas facultativas	3

Fuente: Moscoso (2011)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Ubicación

A continuación se mencionan los datos generales de la ubicación de la zona de estudio “El Patio Taller de la Línea 1 del Metro de Lima”.

a) Ubicación Política

Departamento: Lima

Provincia: Lima

Distrito: Villa El Salvador

b) Ubicación Geográfica

12°12'28.0" - 12°12'38.6" Latitud sur

76°55'47.5" - 76°55'49.3" Longitud Oeste

4.1.2 Vías de comunicación y acceso

El acceso al Patio Taller se realiza por la Av. Separadora Industrial o la Av. Pachacutec, luego se ingresa por la Av. Juan Velazco Alvarado y finalmente por el Jr. Solidaridad Cuadra 8, Villa El Salvador

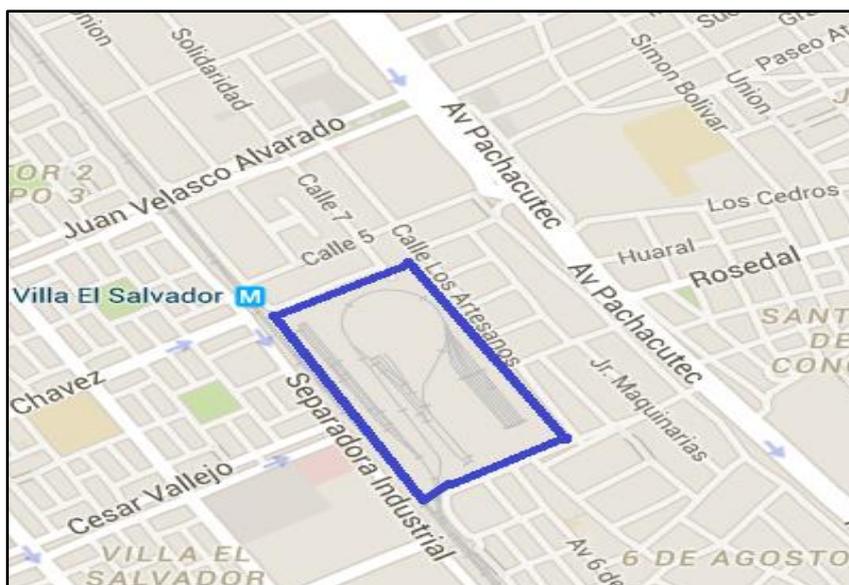


Figura N° 4: Vías de Acceso al Patio Taller

Fuente: Adaptado de Google Maps

4.1.3 Características físicas

El Patio Taller de la Línea 1 del Metro de Lima, ubicado en Villa El Salvador, se encuentra asentado sobre el desierto de la Tablada de Lurín, en una zona intercuencial, localizada entre el río Lurín y el río Rímac. Esta zona se caracteriza por ser desértica; con un tipo de suelo arenoso producto de la erosión y sedimentación marina.

4.1.4 Información Planialtimétrica

La información Planialtimétrica utilizada en el estudio fue directamente recolectada mediante los planos del Proyecto “Línea 1”. Los planos recolectados fueron los siguientes:

- Plano topográfico
- Plano de arquitectura
- Plano de la red de desagüe
- Plano de la red de agua
- Plano de las instalaciones eléctricas subterráneas
- Plano del plan Maestro del Patio Taller

4.1.5 Información meteorológica

La información meteorológica usada en el estudio corresponde a la estación meteorológica Manchay Bajo, que se ubica en las coordenadas (12° 10' 1" latitud sur y 76° 52' 1" longitud oeste).

Los datos de velocidad del viento y horas sol (periodo: 1955-1959) y los datos mensuales de temperatura, precipitación y humedad relativa (periodo: 1955-1980), se obtuvieron de la base de datos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Esta información fue necesaria para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y para determinar la demanda de agua de las áreas verdes del Patio Taller.

4.1.6 Situación actual del Patio Taller

El Patio Taller es una edificación donde se llevan a cabo actividades administrativas, operativas y de mantenimiento de trenes para la gestión de la Línea 1 del Metro de Lima.

Las áreas funcionales del Patio Taller son las siguientes:

- Jefatura de Patio
- Taller de Material Rodante
- TIF Oficinas
- Taller auxiliar
- Subestación eléctrica
- Almacén general
- Comisaría
- Vestuarios

En el Patio Taller existen tres niveles claramente diferenciados, esto se da debido a la topografía de la zona (Ver plano P-1 en Anexos).

- Primer nivel: con pendiente de 0°; cota de terreno 205 m.s.n.m.
- Segundo nivel: con pendiente de 0°; cota de terreno 215 m.s.n.m.
- Tercer nivel: con pendiente promedio de 30°; cota de terreno varía de 215 m.s.n.m. hasta 222 m.s.n.m.

4.1.7 Materiales, equipos y programas

Equipos de campo

- Conductivímetro
- Termómetro
- pHmetro
- GPS
- Cronómetro
- Cámara fotográfica
- Mascarillas de carbón activado

- Botines dieléctricos
- Guantes esterilizados
- Gel desinfectante
- Balde
- Vertederos triangulares
- Lentes protectores
- Casco
- Envases para toma de muestras de agua
- Bolsas de papel
- Bolsas de plástico
- Barreno
- Pico
- Lampa
- Libreta de notas

Equipos de gabinete

- Laptop Toshiba Satellite A660
- Impresora EPSON

Programas de cómputo y materiales

- Microsoft Office 2010
- Autocad 2010
- Cropwat 8.0
- Materiales de escritorio

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Diagnóstico de las áreas verdes

4.2.1.1 Determinación de las áreas verdes potenciales

De acuerdo al plano topográfico y al plano de planta del Patio Taller se identificaron las áreas verdes actuales y potenciales. De esta manera se calculó la superficie de áreas verdes actuales y potenciales en el Patio Taller. En el Plano P-1, Plano de Áreas verdes de Anexos, se muestra las áreas actuales y potenciales del Patio Taller.

Determinación de la superficie de áreas verdes potenciales

$$AVP = ZDA - AVA$$

Donde:

AVP=superficie de áreas verdes potenciales (m²)

ZDA=superficie total de zonas destinadas a áreas verdes (m²)

AVA=superficie de áreas verdes actuales (m²)

4.2.1.2 Caracterización del suelo

Muestreo de suelo

Se realizó el muestreo del suelo, con el fin de obtener las propiedades físicas de textura y densidad aparente. Estos datos sirvieron para el cálculo de la demanda hídrica.

Previo al muestreo se realizó la limpieza de la superficie del suelo; las muestras se tomaron en envases cilíndricos. Para ello se introdujo un dispositivo tomamuestras metálico en forma de anillo, luego se hincó por golpeo manual y se tomaron 2 muestras inalteradas de suelo; M-1, que representa el suelo del primer y segundo nivel (zona bajo riego, cubierta con Césped) y M-2 que representa el suelo del tercer nivel (zona sin riego, que se encuentra en estado crítico).

Los ensayos de textura y densidad aparente, fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente, FIA- UNALM.

4.2.1.3 Estimación de las Necesidades de agua del cultivo

Determinación de la ETc

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc), se utilizó el método FAO propuesto por Doorembos y Pruitt en 1977. El cálculo de los requerimientos hídricos se realizó para dos cultivos: Cynodon Dactylon, también conocido como Césped de las Bermudas y Aptenia Cordifolia. El coeficiente del cultivo (Kc), para el césped se tomó del estudio FAO de riego y drenaje (2006). El valor del Kc de la Aptenia Cordifolia se tomó del Manual de riego de jardines de la Junta de Andalucía (2004).

La evapotranspiración del cultivo se calculó mediante la siguiente relación:

$$ET_c = ETo \times Kc$$

Donde:

ET_c= Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o= Evapotranspiración de referencia

K_c= Coeficiente del cultivo (adimensional)

K_c del césped = 1

K_c de la Aptenia cordifolia = 0.3

Evapotranspiración de referencia (ETo)

La (E_{to}) se determinó mediante el método de FAO Penman-Monteith, utilizando los siguientes datos meteorológicos.

- Temperatura del aire: Temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}), promedio diario para periodos mensuales.
- Humedad del aire: el promedio mensual o de la presión real de vapor (e_a) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.
- Velocidad del viento: valores promedio mensual de la velocidad diaria del viento medida a una altura de 2 m (u₂).
- Radiación: Promedio mensual de la radiación neta diaria (R_n) calculada de la media mensual de la radiación de onda corta medida o de la duración real de las horas diarias de insolación (n).
- La radiación extraterrestre (R_a) y las horas de duración máxima de insolación (N).

Ecuación Penman Montheith

$$ETo = 1 + \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (es - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

E_{To} = evapotranspiración de referencia (mm día^{-1})

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$)

G = flujo de calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2}\text{día}^{-1}$)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (ms^{-1})

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

γ = constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

4.2.1.4 Estimación de la demanda de agua de las áreas verdes

Demanda de agua del cultivo

Lámina Neta (LN)

$$LN = (\text{CC}\% - \text{PM}\%) \times \text{DS} \times \text{HD}\% \times \text{PROF}$$

Lámina Bruta (LB)

$$LB = \frac{LN}{\text{Ef}\%}$$

Frecuencia de riego (FREC)

$$\text{FREC} = \frac{LN}{\text{ETc}}$$

Caudal de demanda (Qd)

$$Qd = \left(\frac{l}{s}\right) = \frac{K \times A \times LB}{F \times (\text{HD})}$$

$$Qd = (\text{m}^3/\text{día}) = \frac{K \times A \times LB}{F \times (\text{HD})}$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

CC = Capacidad de Campo (%)

PM = Punto de Marchitez (%)

DS = Densidad del suelo (gr/cm^3)

HD = Humedad disponible (%)

PROF = Profundidad de raíz (mm)

Ef = Eficiencia de riego (%)

Lb = Lamina bruta

Ln = Lamina neta

A = Área (Has)

F = Frecuencia de riego (días)

HA = Horas disponibles (Hr/día)

LB = Lámina bruta (mm)

K= factor de conversión

Qd = Caudal de demanda

4.2.2 Diagnóstico del consumo de agua

Para evaluar el sistema de agua se recolectó información primaria y secundaria del Patio Taller, se utilizaron planos, historial del consumo de agua durante 12 meses, y estudios anteriores.

Durante la etapa de reconocimiento del sistema de agua se hizo la lectura del plano de la red de agua y además un recorrido por las instalaciones del Patio Taller, verificando la distribución de la red de agua desde la conexión de la red pública de SEDAPAL hasta la cámara de bombeo y la repartición hacia las áreas funcionales del Patio.

Para identificar los procesos que se desarrollan en el Patio Taller, se visitó cada área funcional y se entrevistó al personal correspondiente, con el fin de obtener un enfoque global de las actividades del Patio y conocer como se utiliza el agua dentro de ellas, para posteriormente identificar el tipo de agua residual generado.

4.2.3 Diagnóstico del sistema de desagüe

Se verificó las redes de desagüe, se hizo el recorrido y la inspección de todos los buzones existentes en el Patio Taller, la inspección consistió en verificar el funcionamiento y el flujo de agua residual en cada buzón; esto se hizo con la ayuda del plano existente, luego se digitalizaron las redes. Posteriormente se determinaron los puntos de aforo y muestreo de agua residual y se calibraron los equipos para la caracterización cuantitativa y cualitativa del efluente.

Determinación de puntos de aforo y muestreo de agua residual

Se hizo la identificación y la inspección de las redes de desagüe del Patio Taller, (Ver en Anexos, fotos N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4). Los puntos de aforo y muestreo de agua residual se determinaron tomando en cuenta los aspectos físicos del Patio Taller y el estado de los buzones, los puntos seleccionados fueron los más representativos y se ubicaron en los buzones finales a cada red de desagüe.

En la red N° 1 se eligió el buzón A y la caja de registro CR 2 para el aforo, para el muestreo se eligió el buzón D; debido que el efluente del buzón A y la caja de registro CR 2 se conectan y fluyen por el buzón D (Ver Fig. N° 5).

En la red N°2 se eligió el buzón 28, tanto para el aforo como para el muestreo.

4.2.3.1 Aforo de caudales de desagüe

El aforo de caudales de desagüe se realizó mediante los métodos del vertedero y volumétrico, de acuerdo a las características de la descarga. Las mediciones se realizaron en los buzones finales, para la red N° 1 en el Bz A y en la caja de registro CR 2, para la red N°2 en el Bz 28. Esta labor se realizó durante 6 y 7 días consecutivos para las redes de desagüe N°1 y N°2 respectivamente, midiendo el caudal de desagüe a cada hora. En la Fig. N° 5 se muestra la ubicación de los puntos de aforo.

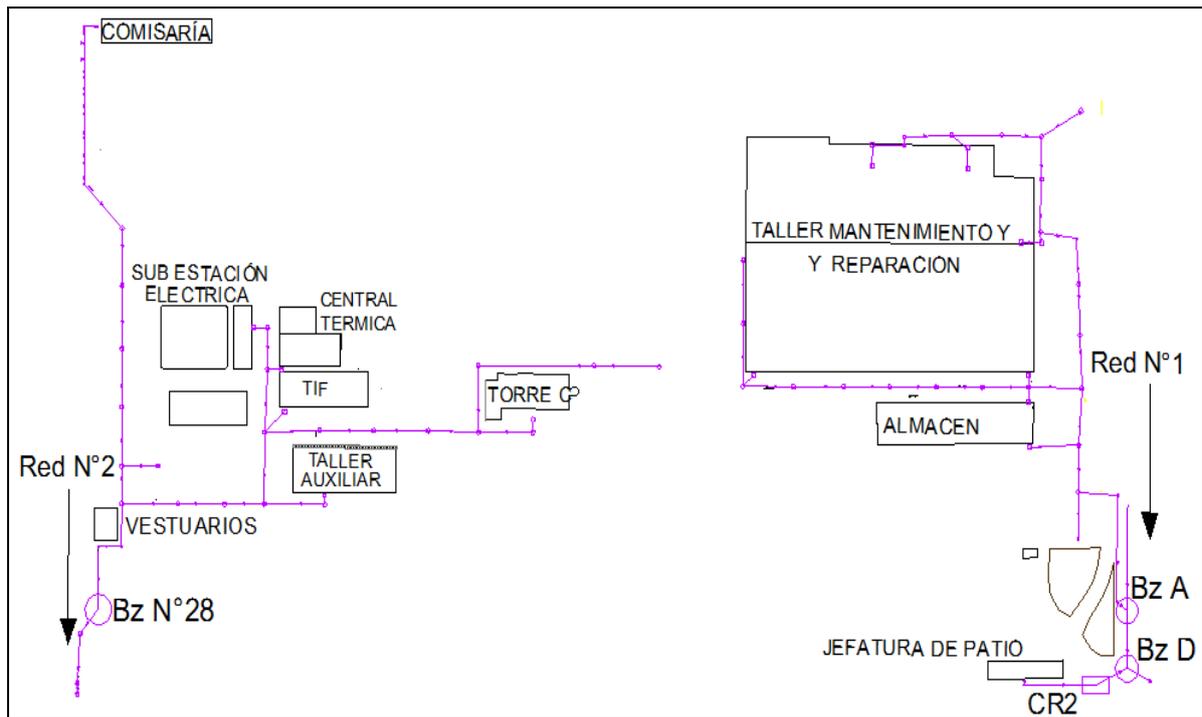


Figura N° 5: Ubicación de los puntos de Aforo en el Patio Taller

Fuente: Elaboración propia

Método del vertedero

Este método fue aplicado de acuerdo con las características físicas y geométricas de la salida del efluente, se utilizó el buzón 28 y en la caja de registro CR 2, mediante el vertedero de pared delgada. El método consiste en colocar una obstrucción en el canal para que el líquido retroceda un poco y fluya sobre o a través de dicha obstrucción, se midió la altura de la superficie líquida (H) corriente arriba para determinar el caudal (Q).

Para la presente investigación se utilizó el vertedero de pared delgada (3mm) de forma triangular, que es más preciso que el rectangular para medir pequeños caudales, puesto que, para un mismo caudal los valores de la carga (H) son mayores. Para el buzón 28 se eligió una escotadura de 90°; con mediciones a cada hora durante 7 días, para la caja de registro CR 2 se eligió una escotadura de 45°; con mediciones a cada hora durante 6 días, (Ver fotos N°5, N°6 y N°7 en Anexos). En la Fig. N°6 y N°7 se presenta la geometría de los vertederos utilizados para el aforo del Buzón Bz 28 y la caja de registro CR 2 respectivamente.

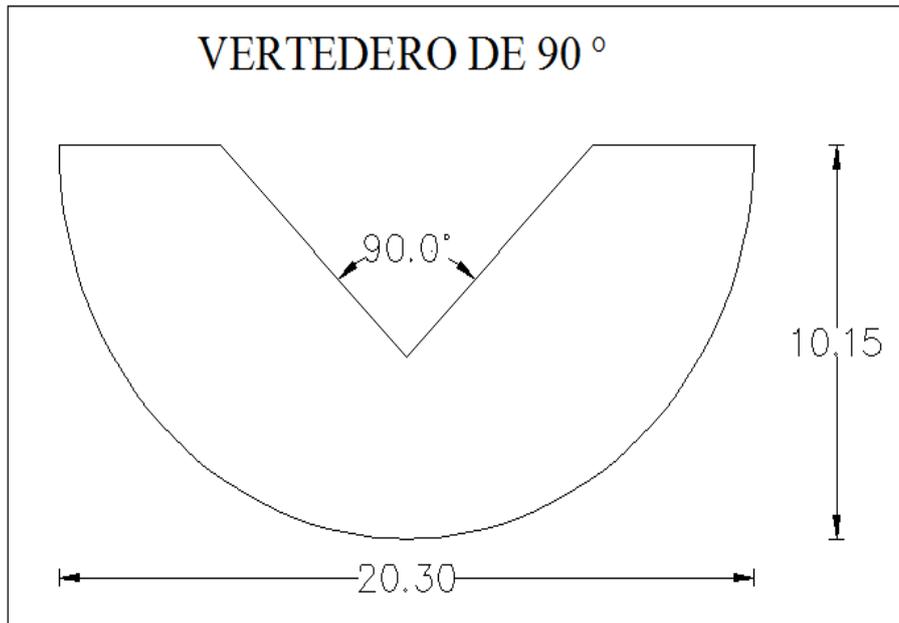


Figura N° 6: Vertedero con escotadura de 90°
Fuente: Elaboración propia

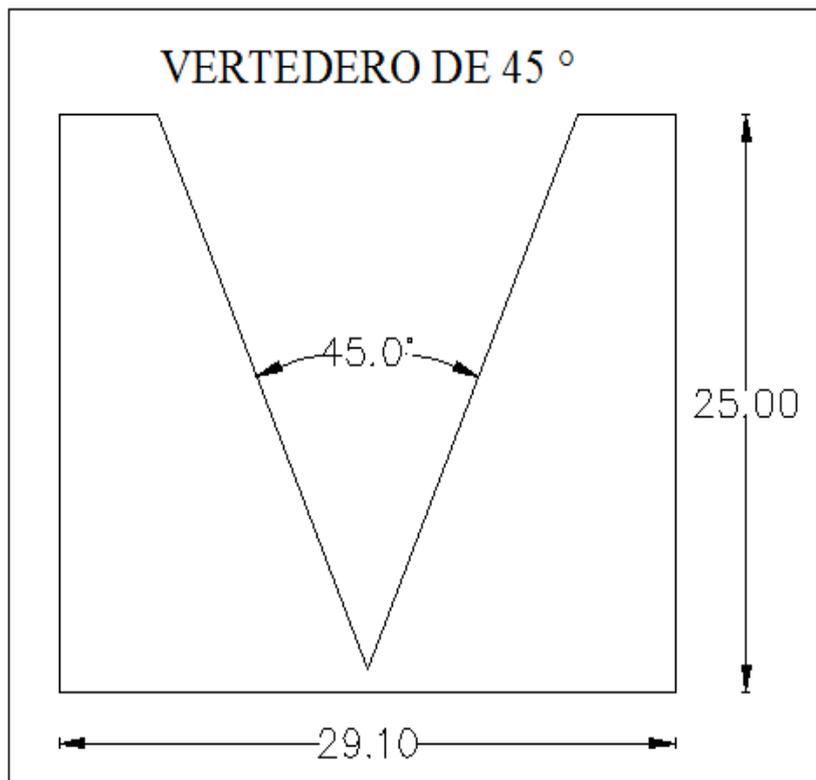


Figura N° 7: Vertedero con escotadura de 45°
Fuente: Elaboración propia

La ecuación para el cálculo del caudal del vertedero fue la siguiente

$$Q = \frac{8}{15} (Cd) (\sqrt{2g}) \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) H^{\frac{5}{2}}$$

Donde

Q = Caudal m³/s

Cd= Coeficiente de descarga

θ = ángulo de la escotadura triangular

H = carga hidráulica, altura de agua de la cresta de agua

Método Volumétrico

Este método permite medir caudales bajos como los que escurren en pequeños canales o tuberías. Se aplicó para el aforo del caudal en el Bz A, para ello, días antes se calibró un balde de 4 litros y se instaló un tubo de 3 pulg de diámetro para tener facilidad en la captación del volumen de agua residual. La medición consistió en llenar el balde con agua residual y con un cronómetro tomar el tiempo de llenado en segundos (Ver Foto N° 8 en Anexos), las mediciones se realizaron a cada hora durante 7 días consecutivos. Los datos obtenidos fueron el tiempo y el volumen, que posteriormente fueron procesados mediante la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q= caudal (L/seg.)

V=volumen (L)

t= tiempo (seg.)

Caudal promedio de agua residual del Patio Taller (QP)

Una vez obtenidos todos los datos de caudales, se calculó el promedio aritmético y se obtuvo el caudal promedio para cada buzón.

Siendo:

$$QP = \text{QAFORO RED 1} + \text{QAFORO RED 2}$$

$$\text{QAFORO RED 1} = \text{QBzA} + \text{QCR2}$$

$$\text{QAFORO RED 2} = \text{QBz28}$$

Donde:

QP: Caudal promedio de agua residual del Patio Taller

QAFORO RED 1: Caudal de aforo de la Red N° 1

QAFORO RED 2: Caudal de aforo de la Red N° 2

QBz28: Caudal promedio del buzón 28

QBzA: Caudal promedio de salida del buzón A

QCR2: Caudal promedio de la caja de registro 2

Factor de descarga de aguas residuales (FD)

El factor de descarga de aguas residuales se determinó mediante la relación entre la contribución de aguas residuales con relación al consumo de agua, siendo:

$$FD = \frac{QDESAGÜE}{QCONSUMO}$$

Donde:

QCONSUMO: Es el caudal de agua que ingresa a la red interna del Patio Taller (medición de SEDAPAL)

QDESAGÜE: Caudal promedio de agua residual del Patio Taller

Caudal de agua residual disponible para tratamiento (QD)

Es necesario considerar que actualmente existe un proyecto para construir una nueva edificación de vestuarios para los colaboradores de Línea 1, por lo que se ha determinado que la red de desagüe N° 2 aumentará la producción diaria de agua residual, mientras que la red de desagüe N° 1 disminuirá su producción.

El nuevo edificio de vestuarios evacuará sus efluentes a la red de desagüe N°2, entonces el número de personas adicionales a atender será de 130, se tomó en cuenta que cada persona consume alrededor de 93 litros de agua.

Por lo tanto los caudales de la Red N°1 y RED N°2 se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

Caudal de la Red N° 1 (Q1): QAFORO RED 1 (m3/día) - N° PERSONAS x Q consumo por persona (m3/día) x 0.8

Caudal de la Red N° 2 (Q2): QAFORO RED 2 (m3/día) + N° PERSONAS x Q consumo por persona (m3/día) x 0.8

4.2.3.2 Caracterización cualitativa del agua residual cruda

Muestras puntuales

Para realizar el muestreo puntual se utilizó un recipiente de acero de 250 ml, atado a una cuerda. El muestreo puntual se realizó para evaluar los parámetros in situ (pH, conductividad eléctrica y temperatura), utilizando el pHmetro, conductivímetro y termómetro, respectivamente. Se tomaron dos muestras puntuales a cada hora, una muestra sirvió para el análisis in situ, y la otra fue sellada y refrigerada entre 0 y 4°C para preparar la muestra compuesta al final de la jornada. El periodo de muestreo para los análisis in situ fue de 10 horas desde las 6:00 a.m. hasta las 3:00 p.m., por lo tanto el número total de muestras puntuales fue 20.

Muestras compuestas

Las muestras compuestas se prepararon a partir de la combinación de las muestras puntuales tomadas en un mismo punto de muestreo en diferentes tiempos, dicha combinación se realizó al finalizar la jornada de muestreo. La muestra compuesta sirvió para realizar análisis microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales) y físico químicos (aceites y grasas, DBO5, DQO y sólidos suspendidos). Los análisis microbiológicos fueron realizados en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" de la Facultad de Ciencias de la UNALM, mientras que los análisis físicos y químicos fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM.

4.2.4 Balance de la demanda de agua para riego y las aguas residuales disponibles

Para realizar el balance se analizó la siguiente información:

- Caudal de aguas residuales disponibles
- Demanda de agua de las áreas verdes
- Consumo mensual de agua potable
- Instalaciones subterráneas en el Patio Taller
- Plan Maestro del Patio Taller

Luego de analizar y evaluar la información anterior, se realizó el balance entre las aguas residuales disponibles y la demanda de agua para riego. Para ello fue necesario tomar en cuenta la infraestructura existente y la factibilidad de tratar dichas aguas residuales.

4.2.5 Análisis de la disponibilidad de espacio

Para determinar la disponibilidad de espacio y ubicar la PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) dentro del Patio Taller, se analizó la siguiente información:

- Plano de arquitectura del Patio Taller
- Plano del Plan Maestro del Patio Taller
- Infraestructura existente en el Patio Taller
- Actividades principales en el Patio Taller
- Áreas restringidas en el Patio Taller

4.2.6 Análisis y selección de las alternativas tecnológicas para el tratamiento de agua residual

Para realizar el análisis y selección de las tecnologías de tratamiento fue necesario revisar los aspectos técnicos, económicos, administrativos y ambientales del Patio Taller, para ello se consideraron los siguientes criterios:

- caudal de agua residual
- calidad de agua residual
- calidad de agua requerida para el reúso en riego
- Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales
- Espacio requerido según el tipo de tecnología de tratamiento
- área disponible
- costo de inversión
- costo de operación y mantenimiento
- Limitaciones respecto al entorno del Patio Taller.

Además, se estableció la verdadera magnitud de las ventajas, desventajas y los costos que implicó tomar una u otra decisión. Se tomó en cuenta las premisas de la Tabla N° 6 de revisión bibliográfica y se elaboró un cuadro de ponderación donde se determinaron los indicadores favorables y desfavorables para los requerimientos del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Patio Taller, los cuales determinaron la tecnología seleccionada. En la Tabla N° 11 se muestran los tres indicadores utilizados para seleccionar la tecnología más favorable.

Tabla N° 11: Indicadores para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Patio Taller

condicionante	color
indicador favorable para los requerimientos del sistema de tratamiento del Patio taller	
indicador desfavorable para los requerimientos del sistema de tratamiento del Patio taller	
indicador que no es determinante en la selección del sistema de tratamiento para el Patio Taller	

Fuente: elaboración propia

V. RESULTADOS

5.1. DETERMINACIÓN DE ÁREAS VERDES Y DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO

5.1.1 Superficie de áreas verdes

En la actualidad las zonas destinadas a áreas verdes se ubican en los tres niveles del Patio Taller (primer, segundo y tercer nivel).

En el primer y segundo nivel se tienen 6406 m² de jardines cubiertos con césped, los cuales se riegan con agua potable. En meses de verano se realiza el riego por inundación, esta actividad se realiza de día generando pérdidas de agua por evapotranspiración, en invierno el riego disminuye considerablemente.

En el tercer nivel existe un talud destinado a áreas verdes, que tiene una superficie de 14206 m², que están parcialmente utilizados con árboles de ficus que se encuentran en estado crítico debido a que no reciben riego; regar dicha zona con agua potable resulta un gasto muy elevado.

La superficie total de áreas verdes actuales y futuras en el Patio Taller es de 20612 m².

5.1.2 Consumo actual de agua para riego

En el gráfico N° 1, se muestra el volumen mensual de agua que se utiliza para regar el Césped. En el verano se consume hasta 1003 m³/mes de agua potable, mientras que en invierno el consumo disminuye hasta 417 m³/mes.

5.1.3 Caracterización del suelo

Los parámetros obtenidos de los análisis de suelo fueron: textura y densidad aparente. La Tabla N° 12 muestra los resultados del análisis del suelo; M-1 representa el suelo del primer y segundo nivel, mientras que M-2 representa el suelo del tercer nivel.

Tabla N° 12: Resultados del análisis de suelo

Campo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	Densidad aparente (gr/cc)
M-1	85.12	9.84	5.04	Arenosa Franca	1.65
M-2	79.12	15.84	5.04	Arenosa Franca	1.66

Fuente: Laboratorio e Agua suelo y Medio Ambiente de la FIA -UNALM

Se puede observar que la textura del suelo es la misma para ambos casos, predomina el porcentaje de arena, por lo cual se infiere que es un suelo poroso con alta infiltración de agua, que podría generar pérdidas por percolación en caso de tener un riego pesado.

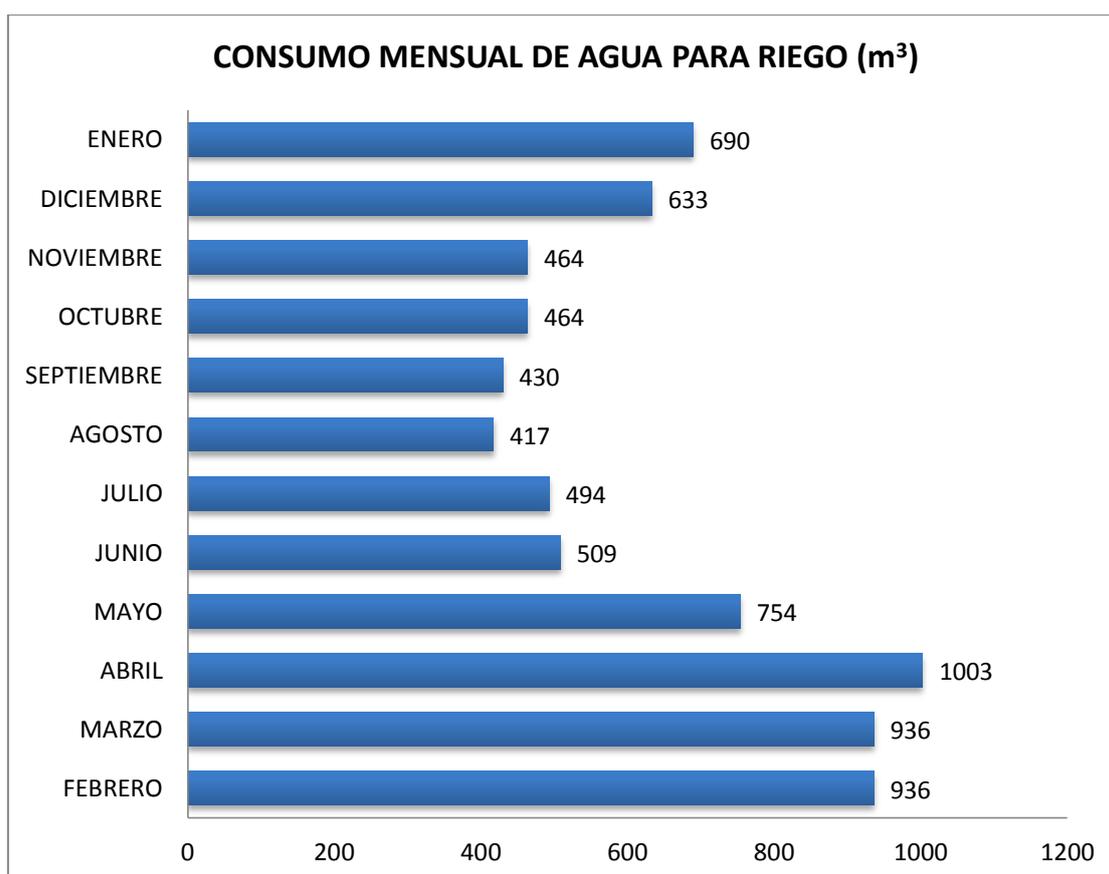


Grafico N° 1: Consumo mensual de agua para riego (Febrero 2013 – Enero 2014)

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Demanda de agua para riego

Necesidades de agua

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Los resultados mensuales de evapotranspiración de referencia se muestran en la Tabla N° 13, los cálculos se realizaron utilizando los datos de la Estación Meteorológica Manchay bajo (periodo 1955-1959), mediante el método FAO Penman-Monteith. El mes más crítico es febrero, ya que requiere mayor cantidad de agua. El periodo crítico se da desde Diciembre hasta Abril.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

En la Tabla N° 14 se muestra la evapotranspiración del cultivo para el Césped. La ET_c máxima es de 4.22 mm/día.

En la Tabla N° 15 se muestra la evapotranspiración del cultivo para la Aptenia Cordifolia, la especie es una propuesta del “Proyecto de intervención paisajística del Patio Taller”, se observa que en los meses críticos de verano, la ET_c de la Aptenia es 70% menor que la del Césped, para este cultivo se tiene una ET_c máxima de 1.226 mm/día. En las Tabla N° 16 y N° 17 se muestran los datos de entrada para el cálculo de la demanda hídrica del Césped y Aptenia Cordifolia respectivamente.

Tabla N° 13: Resultados de la evapotranspiración de referencia (E_{to})

Mes	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Humedad (%)	Viento (km/día)	Insolación (horas)	Rad (MJ/m ² /día)	E _{to} (mm/día)
Enero	18.3	25.6	82	334	6.5	20.3	3.98
Febrero	19.1	27.8	81	315	6.2	19.8	4.22
Marzo	18.9	26.1	82	305	6.3	19.2	3.89
Abril	17.1	26	83	316	6.5	17.9	3.57
Mayo	15.4	24.2	85	254	4.5	13.5	2.68
Junio	14.9	20.5	87	157	2.4	10	1.88
Julio	13.6	19.5	87	166	2.1	9.9	1.81
Agosto	13.6	19.1	87	188	2.4	11.4	2.00
Septiembre	13.8	19.6	87	192	3.2	13.8	2.34
Octubre	14.5	20.5	84	245	4.2	16.3	2.83
Noviembre	15.6	23	82	285	3.1	14.8	3.03
Diciembre	16.9	25	82	283	6.3	19.9	3.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14: Resultados de evapotranspiración del cultivo (Césped)

Mes	Eto (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)
Enero	3.98	1	3.98
Febrero	4.22	1	4.22
Marzo	3.89	1	3.89
Abril	3.57	1	3.57
Mayo	2.68	1	2.68
Junio	1.88	1	1.88
Julio	1.81	1	1.81
Agosto	2	1	2
Septiembre	2.34	1	2.34
Octubre	2.83	1	2.83
Noviembre	3.03	1	3.03
Diciembre	3.81	1	3.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15: Resultados de evapotranspiración del cultivo (Aptenia Cordifolia)

Mes	Eto (mm/día)	Kc	ETc (mm/día)
Enero	3.98	0.3	1.194
Febrero	4.22	0.3	1.266
Marzo	3.89	0.3	1.167
Abril	3.57	0.3	1.071
Mayo	2.68	0.3	0.804
Junio	1.88	0.3	0.564
Julio	1.81	0.3	0.543
Agosto	2	0.3	0.6
Septiembre	2.34	0.3	0.702
Octubre	2.83	0.3	0.849
Noviembre	3.03	0.3	0.909
Diciembre	3.81	0.3	1.143

Fuente: Elaboración propia

Demanda de agua del Césped en el segundo nivel

Tabla N° 16: Datos para el cálculo de la demanda hídrica del Césped

Evapotranspiración	ETc (mm/día)	4.23
Capacidad de campo	CC	8.59%
Punto de marchitez	PM	3.78%
Densidad del suelo	DS	1.65
Humedad disponible	HD	55%
Profundidad raíz	PROF (mm)	150
Eficiencia de riego	Ef	85%

Fuente: Elaboración propia

Lámina Neta (LN)

$$LN = 6.5 \text{ mm}$$

Lámina Bruta (LB)

$$LB = 7.7 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego (FREC)

$$FREC = 2 \text{ días}$$

Caudal de riego para el Césped (Qc)

$$Qc = 29.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para regar los 6406 m² de Césped se requiere un caudal de agua de 29.6 m³/día, y una frecuencia de riego cada dos días.

Demanda de agua de la Aptenia Cordifolia en el tercer nivel

Tabla N° 17: Datos para el cálculo de la demanda hídrica de la Aptenia Cordifolia

Evapotranspiración	ETc (mm/día)	1.3
Capacidad de campo	CC	9.43%
Punto de marchitez	PM	4.3%
Densidad del suelo	DS	1.66
Humedad disponible	HD	20%
Profundidad raíz	PROF (mm)	150
Eficiencia de riego	Ef	85%

Fuente: Elaboración propia

Lámina Neta (LN)

$$LN = 2.6 \text{ mm}$$

Lámina Bruta (LB)

$$LB = 3.01 \text{ mm}$$

Frecuencia de riego (FREC)

$$FREC = 2 \text{ días}$$

Caudal de riego para la Aptenia (Qc)

$$Qc = 25.6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para regar los 14206 m² de Aptenia se requiere un caudal de agua de 25.6 m³/día, y una frecuencia de riego cada dos días.

5.2. DIAGNÓSTICO DEL CONSUMO DE AGUA

El abastecimiento de agua para el Patio Taller se da mediante una conexión de 3 pulg desde la red pública y una caja medidora de SEDAPAL.

En la actualidad, el promedio mensual de consumo de agua potable en el Patio Taller es de 2414 m³, teniendo consumos mínimos de 1700 m³ en épocas de invierno y consumos máximos hasta de 3388 m³ en épocas de verano.

En el sector doméstico y riego de áreas verdes: el uso doméstico se da para los sanitarios, cocina y limpieza de instalaciones, se consume en promedio 1690 m³ mensuales. El riego se realiza con agua potable y utilizando métodos inadecuados; lo cual resulta en costos elevados. Por ese motivo, solo se riega alrededor de un 31% de las zonas destinadas a áreas verdes, el consumo mensual promedio para riego es de 644 m³.

En el sector industrial, el agua se utiliza para el lavado exterior de trenes y en actividades complementarias, este rubro tiene un consumo promedio de 80 m³ al mes, semanalmente se lavan 15 trenes, cada tren consume en promedio 3.6 m³, de los cuales el 70% es recuperado mediante una planta compacta de tratamiento de aguas residuales, que posee un filtro de arena y un filtro de carbón activado, posteriormente el agua tratada es reutilizada para la misma actividad, el otro 30% es inyectado con agua potable.

En el Gráfico N° 2 se muestra el consumo mensual de agua potable en el Patio Taller, en el Gráfico N° 3 se muestra el gasto mensual por servicio de agua y desagüe. Los datos han sido adaptados de los recibos de SEDAPAL (periodo: febrero 2013 - enero 2014). En los Gráficos N° 4 y N° 5 se muestra el volumen mensual y la distribución mensual según el uso del agua (sector industrial, doméstico y el riego de áreas verdes). En los Gráficos N° 6 se muestra el volumen del consumo anual de agua en el Patio Taller, para el periodo Febrero 2013 – Enero 2014. El Grafico N° 7 muestra la distribución anual según el uso del. En el Grafico N° 8 se muestra la distribución del gasto anual de agua según el uso.

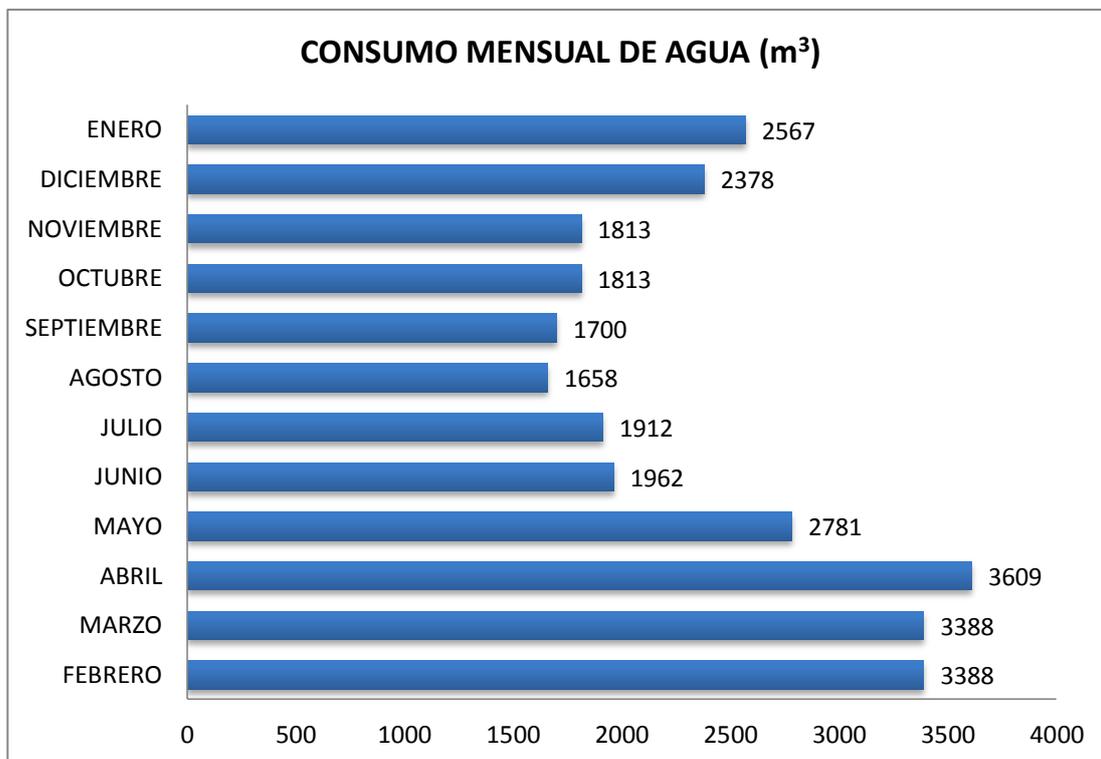


Grafico N° 2: Volumen de consumo mensual

Fuente: Elaboración propia

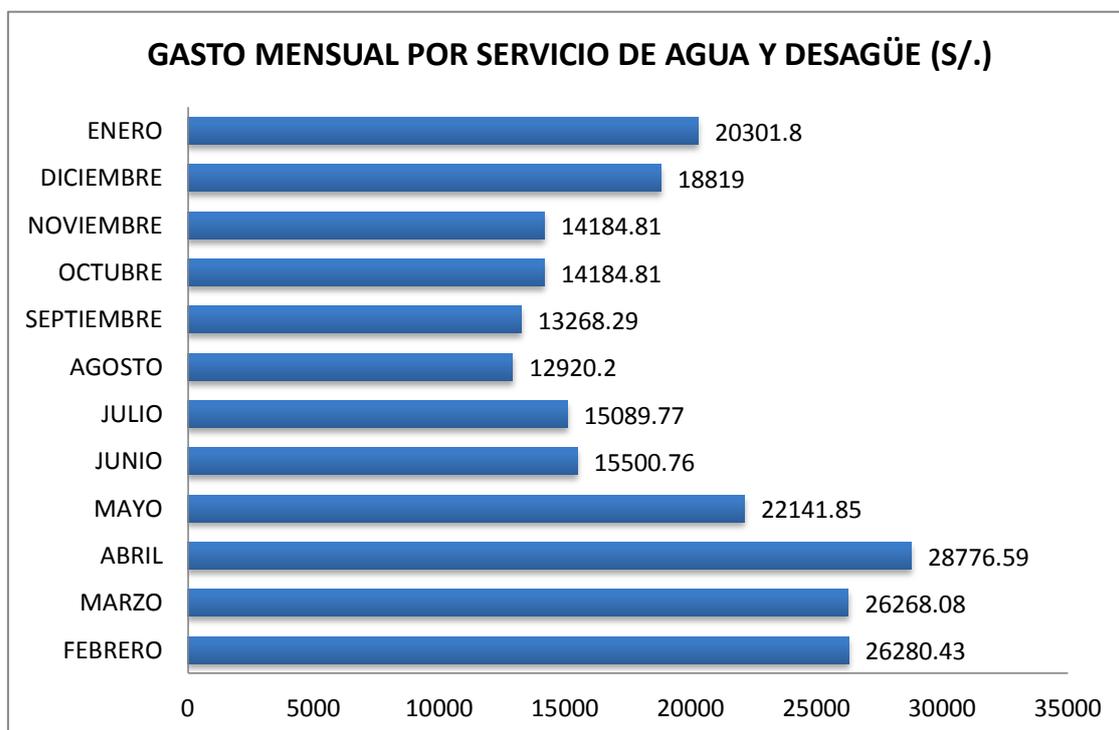


Grafico N° 3: Gasto mensual por servicio de agua y desagüe

Fuente: Elaboración propia

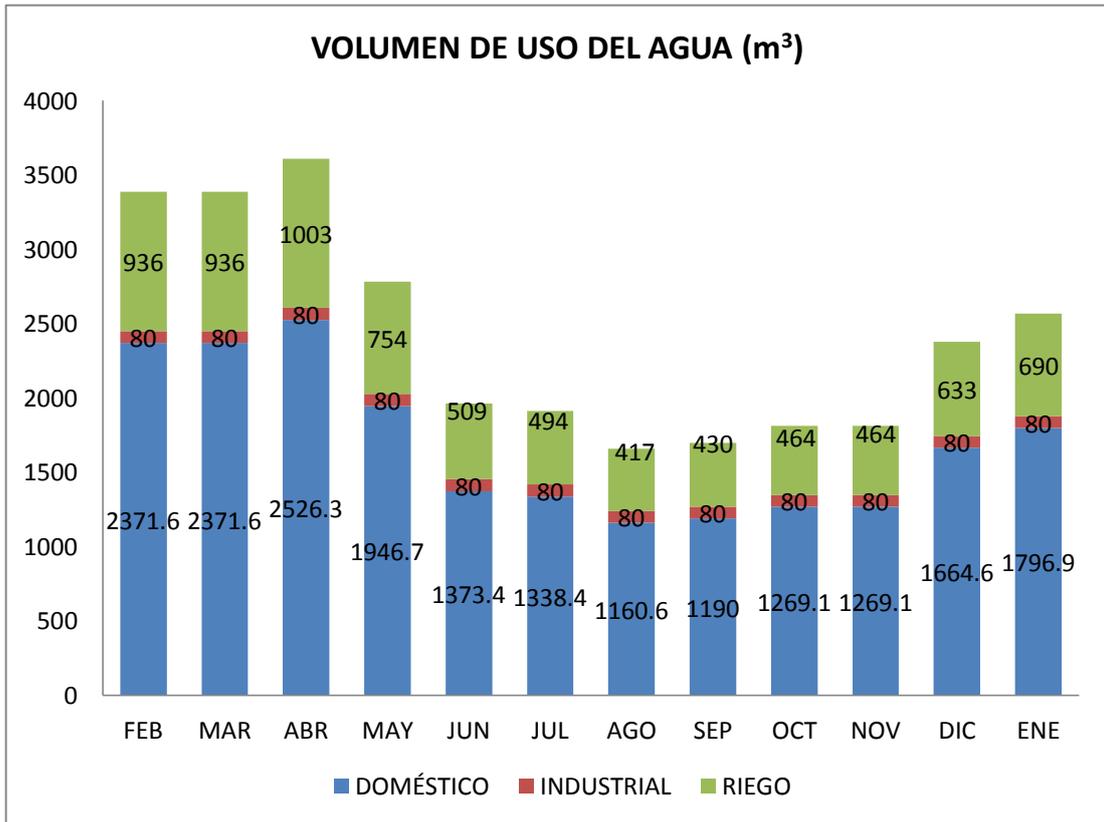


Gráfico N°4: Volumen mensual de agua según el uso en el Patio Taller

Fuente: Elaboración propia

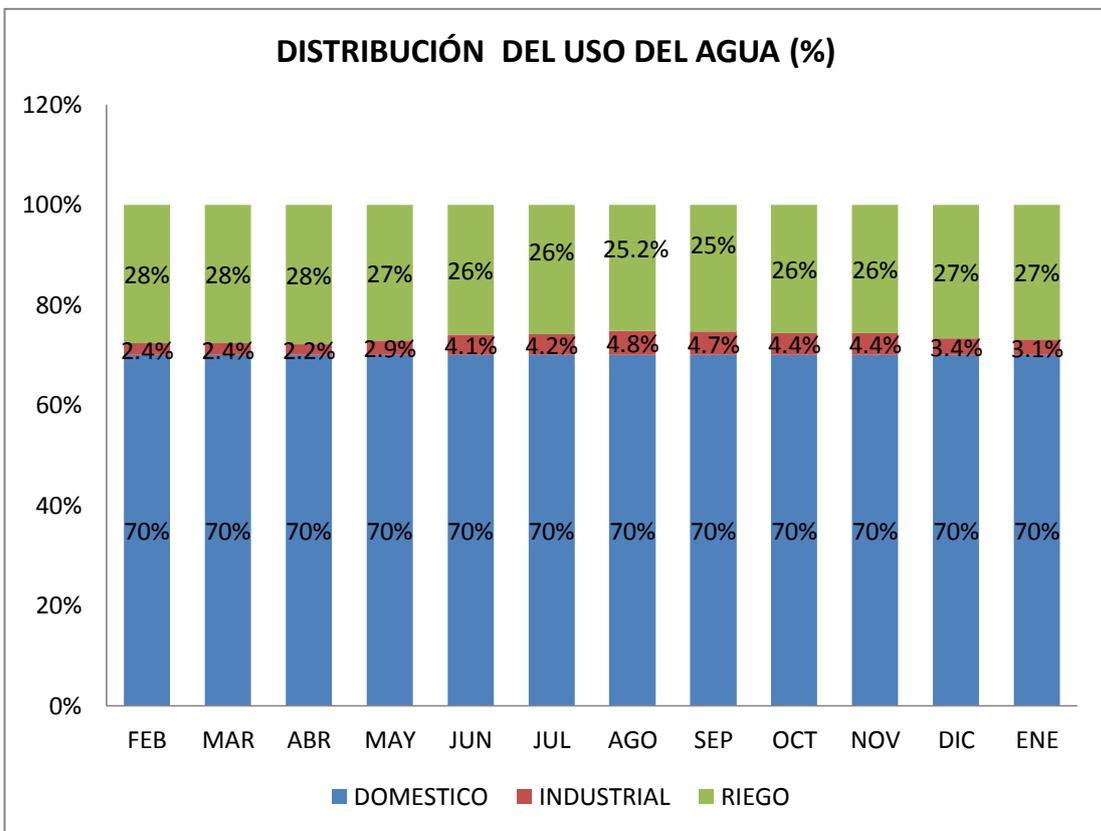


Gráfico N°5: Distribución del uso del agua en el Patio Taller

Fuente: Elaboración propia

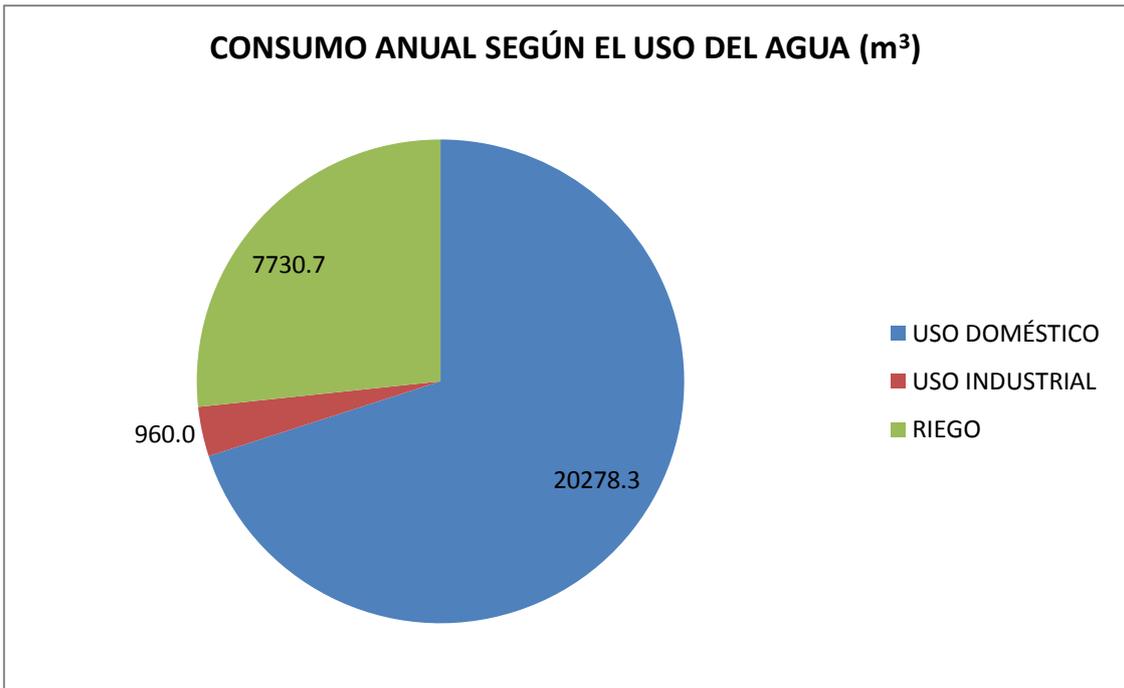


Gráfico N°6: Volumen de consumo anual según el uso del agua en el Patio Taller, periodo Febrero 2013 – Enero 2014

Fuente: Elaboración propia

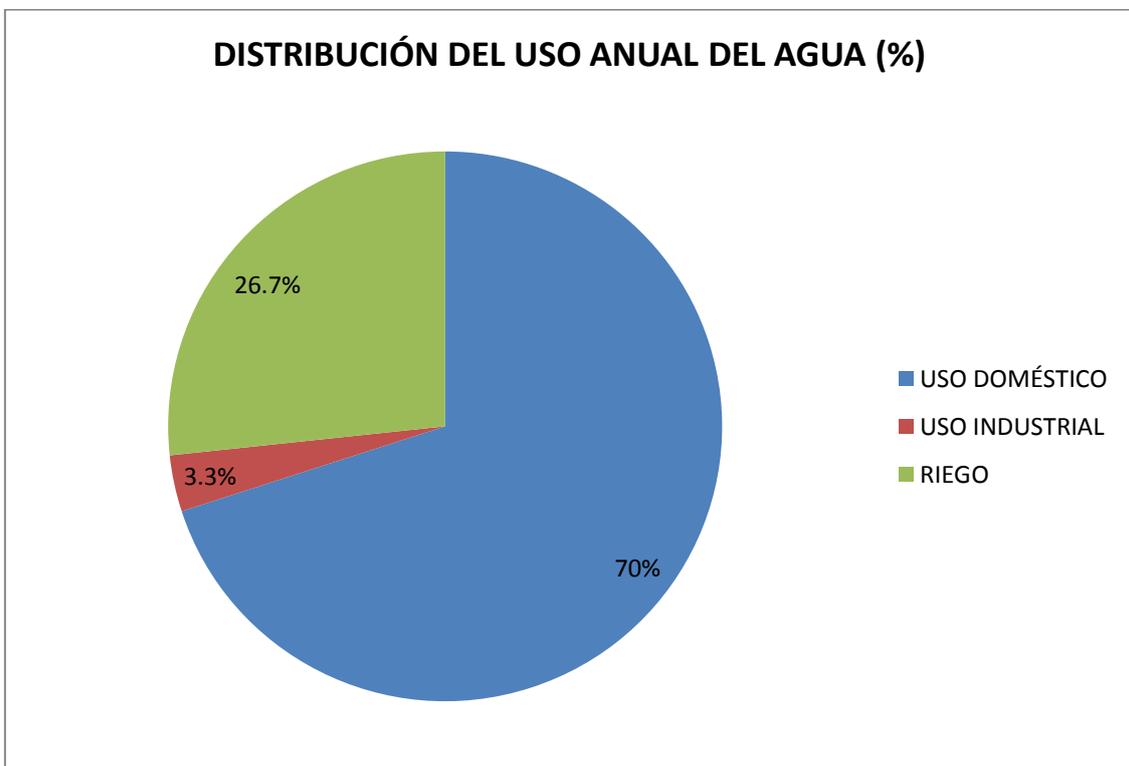


Gráfico N°7: Distribución anual de agua según el uso (Febrero 2013 – Enero 2014)

Fuente: Elaboración propia

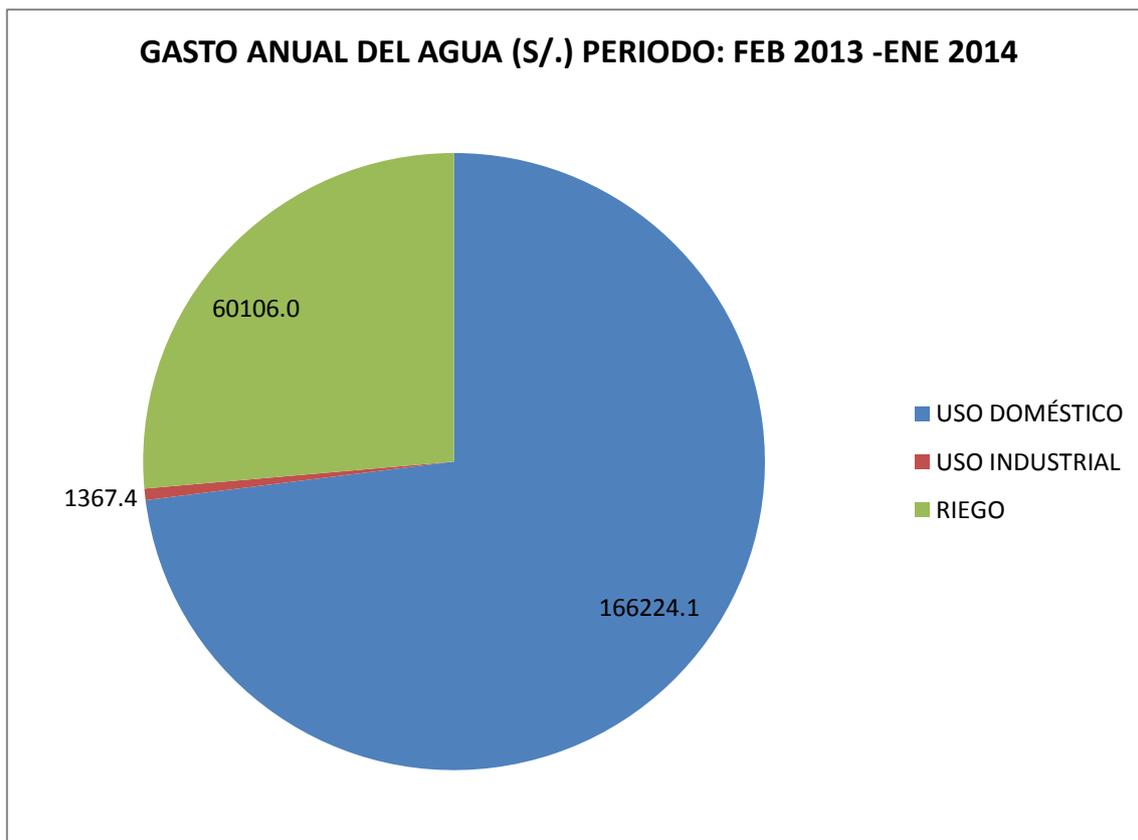


Gráfico N°8: Gasto anual según el uso de agua (Febrero 2013 – Enero 2014)

Fuente: Elaboración propia

5.3 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE DESAGÜE

Las aguas residuales del Patio Taller son de tipo doméstico, se evacúan por dos redes de desagüe, Red N° 1 y Red N° 2 (Ver Plano P-2, Red de desagüe en Anexos), para finalmente conectar en dos líneas separadas a los colectores de SEDAPAL, que se ubican fuera de las instalaciones del Patio. Dichas aguas provienen de actividades del Patio tales como: limpieza de instalaciones, cocina y servicios higiénicos.

5.3.1 Caracterización del agua residual

La Red N°1 expulsa los efluentes de: Almacén general, Taller de Material Rodante y Jefatura de Patio, esta red evacúa sus aguas residuales por el buzón A y la caja de registro CR 2, y luego convergen en el buzón D; para conectarse a la red de alcantarillado público.

La Red N°2 expulsa los efluentes de: Torre de control, Taller de Instalaciones Fijas, Taller auxiliar, subestación eléctrica y comisaría, esta red evacúa sus aguas residuales por el buzón 28.

5.3.1.1 Caudales de desagüe

En las Tablas N° 18 se muestra el caudal promedio del agua residual del Patio Taller. El caudal de aforo de la Red N° 1 es de 25.2 m³/día, el caudal de aforo de la Red N° 2 es de 35.5 m³/día, por lo tanto el caudal promedio de agua residual del Patio es de 60.7 m³/día. Los datos fueron tomados del aforo de las redes de desagüe, durante 7 y 6 días consecutivos para la red N°1 y N°2 respectivamente.

Tabla N° 18: Caudal promedio del agua residual del Patio Taller

Q prom	Unidades
0.7	l/s
60.7	m ³ /d
1823	m ³ /mes

Fuente: Elaboración Propia

Factor de descarga de aguas residuales

$$FD = \frac{QDESAGÜE}{QCONSUMO} = 0.7$$

El factor de descarga es de 0.7, lo que significa que se descarga el 70 por ciento del volumen de agua potable que ingresa al Patio taller.

Por otro lado, según el Plan Maestro de Línea 1, se va a construir un nuevo edificio de vestuarios que evacuará sus efluentes a la red N° 2, por ello, se ha determinado que la Red de desagüe N° 2 aumentará su producción diaria de agua residual, mientras que la red de desagüe N° 1 disminuirá su producción. Por lo tanto, la Red N° 2 evacuará los efluentes de 130 personas adicionales.

Caudal de tratamiento de la Red N°1 (QP1): 15.5 m³/día

Caudal de tratamiento de la Red N°2 (QP2): 45.2 m³/día

Luego de evaluar los caudales y la infraestructura de alcantarillado existente; se consideró conveniente tratar el desagüe de la red N° 2, por lo tanto el caudal de las aguas residuales disponibles (Qard) es de 45.2 m³/día.

5.3.1.2 Caracterización cualitativa del agua residual disponible

Los resultados del análisis in situ de la Red de desagüe N°2, se muestran en la Tabla N° 18, los resultados de los análisis fisicoquímicos en la Tabla N° 19 y los resultados de los análisis microbiológicos en la Tabla N° 20. Cabe resaltar que al momento de extraer las muestras de agua residual, el color del agua era marrón claro, lo cual indica que se trata de aguas residuales frescas.

Tabla N° 18: Valores promedio de los parámetros evaluados In situ de la Red N° 2

PARAMETROS	VALORES
CE. IN SITU (Us/cm)	1124
PH IN SITU	7.8
Temperatura IN SITU (°C)	26.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 19: Valores promedio de análisis fisicoquímico de la Red N°2

PARAMETROS	VALORES
Aceites y Grasas (mg/L)	16.6
DBO5 (mg/L)	300
DQO (mg/L)	500
Sólidos totales (mg/L)	1222
Sólidos suspendidos (mg/L)	170
Sólidos Sedimentables (mg/L/h)	3

Fuente: Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM

Tabla N° 20: Resultados de los análisis bacteriológico de la Red N°2

PARAMETROS	VALORES
E. Coli (NMP/100mL)	7 000 000
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	7 000 000
Coliformes Totales (NMP/100mL)	17 000 000

Fuente: Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología "Marino Tabusso" de la Facultad de Ciencias de la UNALM

Los resultados muestran que el agua residual analizada tiene un pH de 7.8, lo cual indica un valor ligeramente alcalino, pero que aún está dentro del rango permisible para el riego.

La temperatura promedio es de 26.9 °C, valor moderado que no representa un riesgo que pueda afectar al desarrollo de las plantas.

La conductividad eléctrica es de 1124 us/cm, lo cual muestra que el riesgo de salinidad es medio, por lo que los cultivos a regar deben ser tolerantes a la salinidad.

Los valores promedio de DBO₅ y DQO son de 300 y 500 mg/L respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango típico para aguas residuales domésticas. El factor DBO/DQO=0.6 indica que es posible degradar biológicamente el agua residual.

La concentración de Aceites y Grasas fue de 16.6 mg/L, valor bajo en comparación con los valores promedio para aguas residuales domésticas, sin embargo según los parámetros requeridos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; para regar áreas verdes con agua tratada, este valor debe ser menor a 10 mg/L. Además, para evitar problemas en sistemas de riego se debe colocar una trampa atrapa grasa a la salida de la cocina.

La concentración promedio de Sólidos Totales es de 1222 mg/L, la de Sólidos Suspendedos es de 170 mg/L y la de Sólidos Sedimentables es de 3 mg/L.

5.4 BALANCE DE LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO Y LAS AGUAS RESIDUALES DISPONIBLES

El Caudal de demanda de las áreas verdes actuales del primer y segundo nivel, cubiertas con Césped, es de 29.6 m³/día; mientras que el caudal de las aguas residuales disponibles es de 45.2 m³/día; por lo que existe un caudal extra de 15.6 m³/día que dotará de agua al Talud que se encuentra en estado crítico, cubriendo el riego de una superficie de 8500 m² de Aptenia Cordifolia.

5.5 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

La Tabla N° 21 muestra un resumen del resultado del análisis de los factores que influyen la selección de la tecnología de tratamiento para el Patio Taller. Los cuadros con tonalidad rosada indican que la ponderación de los factores es desfavorable para los requerimientos del sistema de tratamiento del Patio taller, los cuadros con tonalidad azul indican que la ponderación de los factores no es determinante para la selección de la tecnología de tratamiento, los cuadros con tonalidad verde indican que la ponderación de los factores es favorable para los requerimientos del sistema de tratamiento del Patio Taller.

Tabla N° 21: Ponderación de Factores que influyen la selección de la tecnología de tratamiento de las aguas residuales del Patio Taller

Factor	Ponderación				
	Lagunas de estabilización facultativas	Lagunas aireadas	Filtros Percoladores	Lodos activados	Humedales artificiales
Confiabilidad					
Sensibilidad de Operación Intermitente	Baja	Baja	Media	Alta	Media
Destreza Operativa del personal	Baja	Baja	Media	Alta	Baja
Eficiencia en la remoción de DBO	Media	Media	Media	Alta	Media
Eficiencia en la remoción de Patógenos	Media	Alta	Media	Media	Alta
Emisión de olores indeseables	Alta	Media	Baja	Baja	Baja
Costos					
Requerimientos de Terreno ¹	Alta	Alta	Media	Baja	Media
Costo de implementación	Baja	Media	Media	Alta	Media
Costo de operación y Mantenimiento	Baja	Media	Media	Alta	Baja

Fuente: Elaboración propia

¹ Factor indispensable en la selección de la tecnología de tratamiento, debido a la infraestructura existente y la baja disponibilidad de espacio en el Patio Taller.

En la Tabla N° 21 se observa que los Lodos Activados y los Humedales Artificiales tienen mayor cantidad de factores favorables para el Patio Taller con respecto a las demás tecnologías. La eficiencia en remoción de patógenos, la eficiencia en remoción de DBO y la emisión de olores indeseables, son factores favorables en ambas tecnologías, sin embargo el requerimiento de terreno para los Humedales artificiales es un factor desfavorable para el Patio Taller, mientras que en los Lodos Activados el requerimiento de terreno es favorable para el Patio Taller ya que se requiere un mínimo espacio. Por lo tanto se determinó que la tecnología más apropiada para tratar las aguas residuales del Patio Taller es Lodos Activados.

5.6 PROCESO DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DEL PATIO TALLER

5.6.1 Ubicación y distribución del sistema de tratamiento

El Patio Taller de Línea 1 posee un área aproximada de 15 Has, su topografía varía, dependiendo del nivel. En el Patio existen 3 niveles:

- Primer nivel: Con pendiente de 0°; Cota de terreno 205 m.s.n.m.
- Segundo nivel: Con pendiente de 0°; Cota de terreno 215 m.s.n.m.
- Tercer nivel: Con pendiente promedio de 30°; Cota de terreno varía de 215 hasta 222 m.s.n.m.

Las obras de captación del agua residual se construirán en el primer nivel, mientras que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) será una estructura compacta que se ubicará en un talud paralelo al segundo nivel, al costado del nuevo edificio de vestidores. Se eligió una Planta compacta debido a que requiere un espacio muy reducido, para obtener los detalles técnicos de la PTAR se solicitó una cotización Técnico-Económica a la empresa MERINSAC. La superficie requerida para la captación del agua residual es alrededor de 20 m², mientras que la superficie requerida para la PTAR compacta es alrededor de 100 m² (Ver Plano P-3 en Anexos: Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales).

Se ha considerado realizar corte y relleno en el terreno, para obtener la superficie plana requerida para ubicar la losa de concreto sobre la cual reposará la PTAR compacta, asimismo se consideró la construcción de muros de contención en los taludes que se generen luego del movimiento de tierras.

5.6.2 Planteamiento del sistema de tratamiento y obras complementarias

El sistema tratará un caudal de contribución de 45.2 m³/día, proveniente de la Red de desagüe N° 2; la DBO en el agua residual de ingreso es de 300 mg/l y la DQO de 500 mg/l. En la Figura N° 8 se muestra el esquema de tratamiento de aguas residuales, el sistema constará de un pretratamiento (incluye una rejilla de gruesos a la salida de la captación), una cámara de captación y bombeo, línea de impulsión del agua residual y una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), de lodos activados con aireación extendida, la planta será compacta (ofertada por la empresa MERINSAC, Ver Propuesta Técnico-Económica en Anexos).

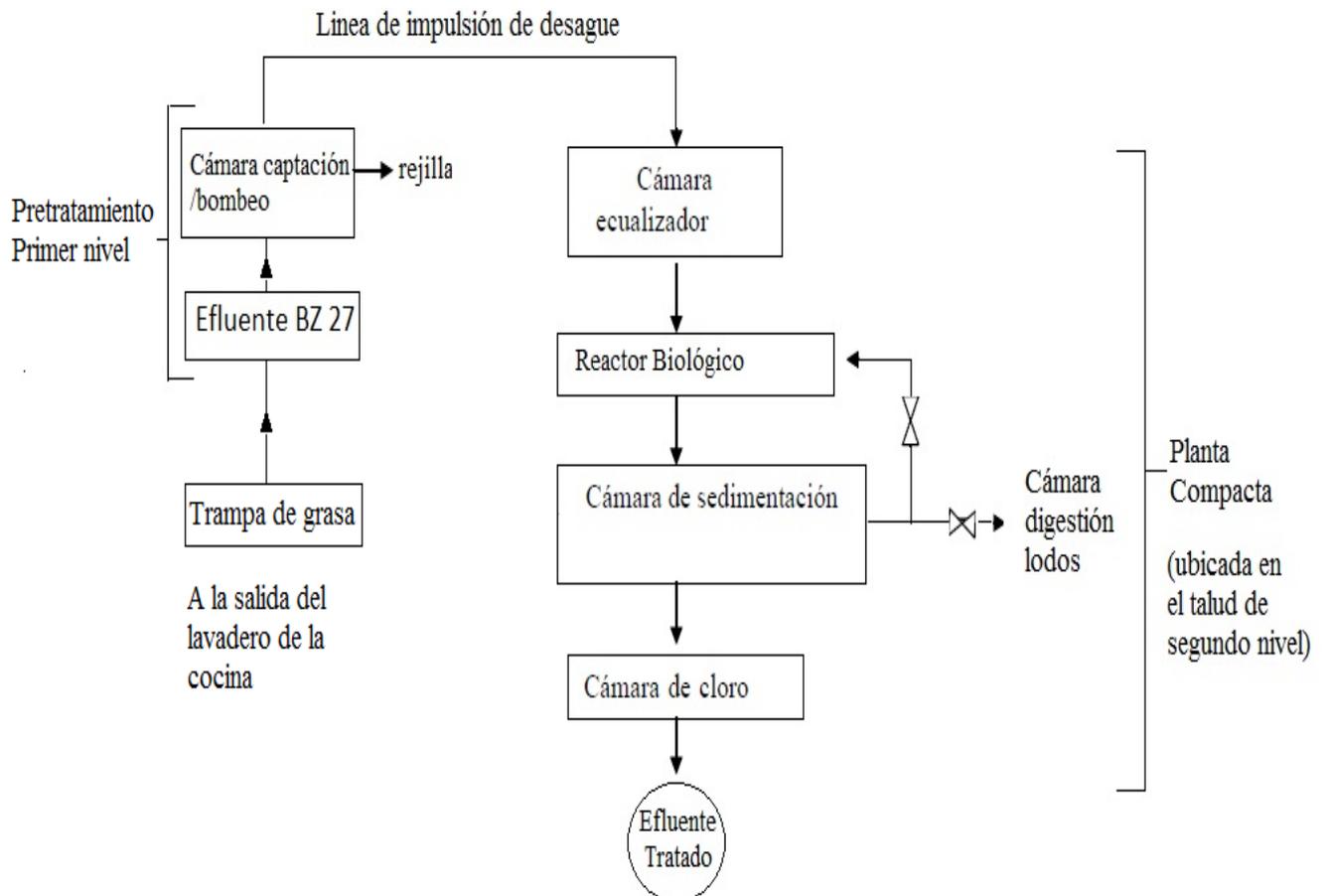


Figura N° 8: Esquema del Sistema de Tratamiento de aguas residuales del Patio Taller

Fuente: Elaboración propia

5.6.3 Descripción de los componentes del sistema de tratamiento

A continuación se describen las características generales de los componentes del sistema de tratamiento propuesto.

A. Unidades de Pre-tratamiento

Estas unidades se ubican antes de la PTAR compacta, están destinadas a separar los sólidos presentes en las aguas residuales para evitar daños en la bomba sumergible y facilitar el tratamiento posterior. Las unidades incorporadas son las siguientes:

Trampa de grasa

La trampa de grasa permitirá, la separación de grasas, las cuales luego se removerán por flotación. Esta unidad debe ser instalada a la salida del desagüe de la cocina, es necesario contar con una unidad de bajo caudal; en promedio de 0.7 l/s, con el fin de retener la mayor cantidad de grasas y aceites antes de que se viertan directo al sistema de desagüe. De esta manera se evitan daños a la infraestructura de la red de desagüe.

Rejilla para la retención de sólidos gruesos

Unidad para separación de sólidos gruesos, consta de una plancha de 1m x 1m conformada por barras de hierro fundido de espesor de 0.0635 m. con un espaciamiento de 0.025 m.

La rejilla será instalada en la cámara de bombeo, justo a la salida de la cámara de captación; de forma inclinada, formando un ángulo de 45° con el eje horizontal.

Para la instalación de la rejilla se requiere colocar soportes de hierro para fijar y adecuarla a las paredes de la cámara de bombeo, a fin de soportar la estructura y permitir su colocación. Para operar del sistema de retención de sólidos se requiere una limpieza manual diaria, los sólidos recolectados serán retirados y posteriormente desechados.

B. Obras de Llegada

Cámara de captación y bombeo

La cámara de captación y bombeo es una estructura que se divide en dos zonas, una de captación del agua residual y otra de retención para el bombeo de dicha agua hacia la cámara de ecualización.

Captación

Las aguas residuales de la Red N°2 de desagüe del Patio Taller serán desviadas hacia una cámara de captación la cual tendrá en el fondo una alcantarilla a media caña de 8 pulg de diámetro, la cámara se ubicará a continuación del BZ N° 27, las cotas de la captación son las siguientes:

- Cota de tapa: 205.00 msnm
- Cota de fondo: 204.00 msnm

Dimensiones:

- Ancho: 1m.
- Largo: 1m.
- Profundidad: 1m.

Cámara de bombeo

Esta unidad será ubicada a continuación de la cámara de captación; es una estructura de concreto de 4.5 m³ de capacidad, las cotas de la captación son las siguientes:

- Cota de tapa: 205.00 msnm
- Cota de fondo: 201.00 msnm

Dimensiones:

- Ancho: 1m.
- Largo: 1.5m.
- Profundidad: 4m.

Esta unidad cumple la función de retener el efluente; el tiempo de retención es aproximadamente 1.5 horas, luego dicho efluente será bombeado hacia la cámara de ecualización de la PTAR compacta. La cámara llevará una escalera interna de acero inoxidable para inspección.

Debido a la agresividad de las aguas residuales y el lodo, se debe utilizar recubrimiento epóxico para las paredes internas de la cámara, los pases de tubería serán de acero inoxidable.

Se ha planteado el bombeo de agua residual desde la cámara de bombeo ubicada en el primer nivel del Patio hacia la cámara ecualizadora, la cual aportará un caudal constante hacia las siguientes unidades de tratamiento. Para el bombeo del agua residual se ha considerado una bomba sumergible de lodos de 3 HP, el bombeo se efectuará varias veces al día; debido a la agresividad del desagüe se debe emplear 2 unidades de bombeo para uso alterno.

Línea de impulsión

La línea de impulsión inicia su recorrido en la cámara de bombeo, a partir de su conexión con la bomba sumergible, debe estar conformada por tubería PVC SAP clase 7,5 de 3 pulgadas de diámetro.

La tubería se debe instalar en una zanja de 0,70 m de profundidad, acomodada sobre una cama de arena seleccionada, el ancho de la zanja será de 0,60 m.

En el trayecto se colocarán 2 válvulas de retención, la primera al inicio del tramo horizontal a la salida de la cámara de bombeo, y la segunda al pie del tanque de regulación. También se debe colocar una válvula de alivio de presión para evacuar los gases generados por descomposición de la materia orgánica del desagüe.

C. PTAR compacta de lodos activados con aireación extendida (según oferta de la empresa MERINSAC)

La depuración por lodos activados es un proceso de tratamiento biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua

residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en el agua.

La planta debe tener la capacidad de remover más del 95% de DBO y más del 99.99% de organismos patógenos, lo cual garantiza la reutilización del agua residual tratada para riego. Se ha propuesto una planta compacta de acero, esta debe ser ubicada sobre una losa de concreto; las dimensiones aproximadas de la planta compacta serán las siguientes:

- Ancho: 4 m.
- Largo: 15 m.
- Profundidad: 3m.

Las cotas de ubicación:

- Cota superior: 213.00 m.s.n.m.
- Cota de fondo: 210.00 m.s.n.m.

Componentes de la planta compacta

Cámara de ecualización o regulación

La cámara de ecualización tendrá una capacidad promedio de 9 m³, tendrá un sistema de difusores de aire de burbuja gruesa. El propósito de esta cámara es proveer un caudal de agua constante a la cámara de aireación, de manera tal que no se vea afectada por el caudal máximo que se presente en la hora de bombeo.

El tanque tendrá una capacidad de almacenamiento promedio de 9 m³, llevará una tubería de ingreso de 3 pulgadas de diámetro, tubería de purga de 3 pulgadas con válvula de globo, tubería de salida de 3 pulgadas, una tubería de ventilación de 4 pulgadas y otra de rebose de 3 pulgadas, esta última conectada a la red que conduce el agua hacia la cámara de aireación

Cámara de Anóxica

El efluente homogenizado ingresará a la cámara Anóxica, la cual tiene como objetivo brindar las condiciones adecuadas para que se realice la segunda etapa para la eliminación del nitrógeno, la desnitrificación.

Cámara Aireada o Reactor Biológico

Destinada a remover la carga orgánica y sólidos suspendidos presentes en el agua residual cruda y los lodos recirculados, el reactor será una estructura de acero; con dimensiones de 10.7 m x 3m y profundidad de 3 m; el volumen promedio será de 90 m³.

Este sistema aeróbico debe estar compuesto de 1 tanque alimentado por un soplador regenerativo con baja emisión de ruido. La impulsión de aire consiste en un sistema de tuberías que llevan el aire desde los sopladores hacía las barras difusoras ubicadas en el fondo del estanque de aireación, donde se encuentran los difusores. Los difusores deberán ser de burbuja Fina, los cuales inyectan burbujas de aire para satisfacer la demanda de oxígeno del proceso y mezclar completamente el contenido del tanque.

Cámara de sedimentación

En esta etapa el líquido se mueve a una velocidad baja, para que los sólidos se sedimenten en el fondo del estanque, de esta manera se da la separación de los lodos permitiendo la descarga del líquido clarificado.

El sistema debe incluir un vertedero por donde se dispone el efluente tratado y un sistema de retorno de lodos a la cámara de aireación.

El lodo generado en el sedimentador, es succionado y elevado mediante un sistema de bombeo “air lift” hacia el ingreso de la PTAR compacta

La capacidad del estanque de sedimentación debe ser en promedio 8m³, estará equipado con: un sistema de retorno de lodos, un desnatador y un sistema para evacuar el exceso de lodos a la cámara de digestión.

Cámara de cloro

Esta cámara tendrá la función de desinfección, eliminará bacterias sobrantes de tratamientos previos, servirá para incorporar hipoclorito de calcio con un 60% de cloro activado, en el proceso de desinfección habrá un tiempo de contacto. El efluente tratado y desinfectado podrá ser dispuesto para reúso.

5.7 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En la Tabla N° 22 se muestra el presupuesto para implementar el Sistema de tratamiento de aguas residuales en el Patio Taller, el cual incluye, las obras de captación, muros de contención, losa de concreto y el costo de la Planta Compacta de tratamiento de Aguas residuales mediante la tecnología de Lodos Activados. El costo total para implementar el Sistema de Tratamiento de aguas residuales asciende a S/. 462,487.00. Por otro lado, en la Tabla N° 23 se muestran los costos de operación y mantenimiento del Sistema de tratamiento de aguas residuales. Los costos de operación mantenimiento durante el tiempo de vida (20 años), de la Planta de Tratamiento ascienden a S/.412,488.00.

Tabla N° 22: Presupuesto de implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales del Patio Taller

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Costo unitario S/.	Parcial S/.
1	Obras civiles – infraestructura				402,162
1.01	Obras provisionales				6,055
1.02	Cámara de captación y bombeo				11,274
1.03	Muro de contención				76,905
01.03.04	Concreto armado				41,351
1.04	Losa para planta compacta de lodos Activados				13,244
1.05	Línea de impulsión de agua residual (3")				6,924
1.06	Equipamiento				287,760
01.06.01	Planta compacta de lodos activados – MERINSAC (45.2 m3/día)	jgo	1.0	270,760	270,760
01.06.02	Bombas, flete, instalación				17,000
	Costo directo				402,162
	Gastos generales y utilidad 10%				40,216
	Imprevistos 5%				20,108
	Total presupuesto				462,487

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23: Costo de operación y mantenimiento

Descripción	soles /día	soles/mes	soles/año
Consumo de energía	20	600	7200
Hipoclorito de calcio	2	60	720
Filtro de aire en soplador	2	60	720
Manómetro	0.19	5.7	68.4
Mantenimiento de Bombas	3.1	93	1116
Operario	30	900	10800
Costo de operación y mantenimiento anual			20,624.4
Costo de operación y mantenimiento en 20 años			412,488

Fuente: Elaboración propia

5.8 REÚSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

La planta de tratamiento de aguas residuales por Lodos Activados tendrá un caudal de 45.2 m³/día, el agua efluente de la planta debe tener una calidad apropiada para el reúso en riego de áreas verdes.

5.8.1 Sistema de riego

Para el reúso eficiente del agua se propone implementar un sistema de riego presurizado. En la selección del sistema de riego se han tomado las siguientes consideraciones:

Área con Césped	:	6406 m ² .
Área con Aptenia Cordifolia	:	8500 m ² .
Tipo de suelo	:	arena franca.
Fuente de agua	:	agua residual tratada.
Sistema de riego	:	microaspersión automatizado
Impulsión del sistema	:	mediante bomba
Fuente de energía	:	eléctrica trifásica 380 V.

El sistema de riego propuesto es microaspersión, debe ser automático, con tuberías enterradas, con aspersores del tipo pop-up (se instala por debajo del nivel del terreno y emergen a la superficie por acción de la presión durante el riego), para los jardines de franjas delgadas, se deben utilizar difusores. Estos aspersores están especialmente diseñados para el riego de áreas verdes. Dichos emisores se ocultan cuando ha finalizado el riego, quedando sólo la huella del césped donde está instalado el aspersor.

El sistema de riego debe tener los siguientes componentes

- Tanque de almacenamiento
- Cabezal de bombeo y filtrado
- Tubería matriz de impulsión de agua para riego
- Electroválvulas
- Tuberías laterales de riego
- Emisores de distintos tipos, varían entre sí; caudal, radio de alcance y forma de diseminar el agua y presión de trabajo.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Las evaluaciones de campo y gabinete determinaron que la red más adecuada y con mayor disponibilidad para el tratamiento de las aguas residuales del Patio Taller es la red N° 2, que posee un caudal de 45.2 m³/día.
- Los resultados del análisis de calidad de las aguas residuales del Patio Taller señalan que son aguas residuales domésticas, con un factor DBO/DQO=0.6 que indica que es posible el tratamiento biológico del agua residual.
- El ahorro anual de agua potable mediante el reúso en riego para el Césped de los jardines del primer y segundo nivel del Patio Taller será el 27%, con respecto al consumo total actual.
- El reúso del agua residual tratada mediante un sistema de riego presurizado cubrirá las necesidades hídricas para los 3 niveles del Patio; primer y segundo nivel con Césped y el tercer nivel con Aptenia Cordifolia, por lo que el consumo total de agua potable en el Patio Taller se incrementaría, y el nuevo ahorro sería de 34%.
- La principal limitación para aplicar tecnologías naturales en el tratamiento de las aguas residuales del Patio Taller es la disponibilidad del terreno y la infraestructura subterránea existente.
- La Tabla de doble entrada N° 21, que muestra la ponderación de factores que influyen la selección de la tecnología de tratamiento de las aguas residuales, es una herramienta de apoyo para la selección de tecnologías, mas no es un elemento determinante en la selección de las mismas.
- La tecnología elegida para el tratamiento de las aguas residuales fue el sistema de Lodos activados con aireación extendida, dado que garantiza una calidad de

efluente adecuada para el riego de áreas verdes, una baja emisión de olores, la ocupación mínima de terreno y no afecta el paisaje del Patio Taller.

- El área de terreno demandado para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales es menor a 150 m², la captación del sistema se ubicará en el primer nivel, en el buzón 27 y la Planta Compacta de Tratamiento de Aguas Residuales será ubicada en el segundo nivel, cerca de los buzones finales de la red de desagüe N° 2; en una zona de bajo tránsito de personas, que no interfiere con el desarrollo de las actividades del Patio Taller.
- El costo de implementación del sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Red N° 2 del Patio Taller asciende a S/. 462,487.00, mientras que el costo de operación y mantenimiento por el tiempo de vida de la planta compacta asciende a S/. 454,488.00.
- El costo proyectado de producción de agua residual tratada, es de S/. 2.81 por metro cubico, lo cual resulta 40% más económico que la tarifa industrial (S/. 4.79, por metro cúbico) que se paga el Patio Taller por el consumo de agua potable.

6.1. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales esté a cargo de personal técnico capacitado, para evitar fallas en los equipos.
- Para realizar un diseño definitivo del sistema de tratamiento de aguas residuales, se recomienda volver a realizar las mediciones de caudales y analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales, estas mediciones deben estar actualizadas de acuerdo a las variaciones en infraestructura sanitaria que se realice en el Patio Taller.
- Se recomienda reforestar el Talud del tercer nivel con *Aptenia Cordifolia*, debido a que tiene un consumo de agua menor al 30% con respecto al Césped.
- Se recomienda utilizar un sistema de riego por Microaspersión para el riego de áreas verdes, debido a que dicho sistema permitirá cubrir el riego del 100 % de las áreas verdes del Patio Taller, además de que permite mojar toda la superficie del terreno y beneficia el desarrollo del cubresuelo.
- Se recomienda realizar el riego de las áreas verdes por las noches, especialmente en meses críticos de verano, para evitar la pérdida de agua por evapotranspiración y para que la demanda de agua sea cubierta.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Arundel, J. 2002. Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales. Trad. V. San José. ACRIBIA. España. 337p.
- Braatz, Susan – Kandiah, Arumugam. Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. Publicado en Unasyuva - No. 185 - Forest influences. Vol. 47 - 1996. Disponible en internet:
<http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s09.htm>.
- Crites, R. Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Trad. M. Camargo; L Pardo; G Mejía. McGraw-Hill. Bogota, Colombia. 776 p.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1964. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Ed. Departamento de estado de los EE.UU. Trad. C Falcón. LIMUSA. México. 303p.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1992. Guidelines for water reuse. Office of Wastewater Enforcement and Compliance. US Agency for International Development. Technical report No. EPA/625/R-92/004, Washington, DC.
- Guía de Identificación, Formulación, y Evaluación Social de Proyectos de Saneamiento Básico Ámbito de Pequeñas Ciudades a Nivel de Perfil – SNIP 2007.
- Junta de Andalucía. 2011. Manual de Riego en Jardines. Consejería de Agricultura y Pesca. España. Consultado 01 Jun. 2014. Disponible en:
http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337165055Manual_de_Riego_de_Jardines__BAJA.pdf

- Estudio FAO de Riego y Drenaje. 2006. Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. Consultado 03 Jun. 2014. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Ley de Recursos Hídricos. 2009. Ley N° 29338. Perú.
- Mendonça, S R. 1987. Tópicos avançados em sistemas de esgostos Sanitários. ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). Río de Janeiro. 259 p.
- Mendonça, S R. 2000. Sistemas de Lagunas de estabilización, Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Bogota, Colombia. McGRAW-HILL. 370 p.
- Montoya, E., 2007. Evaluación de alternativas para la instalación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego agrícola en el sub sector San Agustín – Callao (Perú). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. 107p.
- Moscoso, J. 2011. Opciones de Tratamiento y Reúso de Aguas residuales en Lima Metropolitana. Proyecto LIWA, Gestión sostenible del agua y las aguas residuales en centros urbanos en crecimiento afrontando el cambio climático Conceptos para Lima Metropolitana (Perú). Lima, Perú. Disponible en:
http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Informe técnico. Serie 778. OMS. Ginebra. Consultado 05 Ene. 2014. Disponible en:
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39333/1/WHO_TRS_778_spa.pdf
- Romero, J., 1999. Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización. 3era ed. Alfaomega Grupo Editor. México. 281p.

- Romero, J., 2002. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2da ed. Colombia. 1244p.
- Ronzano, E.; Dapena J.L., 2002. Tratamiento Biológico de las aguas residuales. Días de Santos. Madrid, España. 511p.
- Tchobanoglous, G. y Burton, F.L. (1991) Wastewater Engineering Treatment, disposal, Reuse. 3rd ed. McGraw-Hill. New York. 1334 p.
- Tsutiya, M.T., y Além Sobrinho, P. (1999), Coleta e Transporte de Esgoto Sanitários. 1a edição. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 548 p.
- Universidad Científica del Sur (UCSUR). 2010. Reporte Ambiental de Lima y Callao 2010: Evaluación de avances a 5 años del Informe GEO. Ed. Encinas P. Lima, Perú. 172p.

ANEXOS

**Presupuesto estimado para la implementación del Sistema de Tratamiento de
Aguas Residuales en el Patio Taller de la Línea del Metro de Lima**

Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Costo unitario S/.	Parcial S/.
1	OBRAS CIVILES - INFRAESTRUCTURA				402,162
1.01	OBRAS PROVISIONALES				6,055
01.01.01	Construcción provisional para almacén (área=30,24 m2)	und	1.0	1,572	1,572
01.01.02	Construcción provisional p/oficinas (área=38,88m2)	und	1.0	1,572	1,572
01.01.03	Movilización de campamentos, maquinarias	und	1.0	2,911	2,911
1.02	CAMARA DE CAPTACION Y BOMBEO				11,274
01.02.01	TRABAJOS PRELIMINARES				2,531
01.02.01.01	Trazo y replanteo inicial para cámara de bombeo	und	1.0	323	323
01.02.01.02	Replanteo final de la obra para cámara de bombeo	und	1.0	248	248
01.02.01.03	Entubado metálico	m2	42.6	46	1,960
01.02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				961
01.02.02.01	Excavaciones en terr. para cámara de captación	m3	15.5	11	170
01.02.02.02	Refine, nivelación y compactación en terreno	m2	3.8	15	57
01.02.02.03	Eliminación de desmonte	m3	19.3	38	734
01.02.03	CONCRETO ARMADO PARA CAMARA DE CAPTACION				4,906
01.02.03.01	Concreto f'c 280 kg/cm2 para losa	m3	1.2	420	483
01.02.03.02	Encofrado (i/habilitación de madera) p/ losa	m2	3.8	33	127
01.02.03.03	Acero estruc.trabaj.p/ losa de Captación	kg	44.3	4	177
01.02.03.04	Concreto f'c 280 kg/cm2 para muros en cámara de captación	m3	3.1	458	1,424
01.02.03.05	Encofrado (incl. habilitación de madera) para muro recto	m2	42.6	46	1,960
01.02.03.06	Acero estruc. trabajado p/muro reforzado	kg	183.8	4	735
01.02.04	IMPERMEABILIZACION DE CAMARA DE CAPTACION Y BOMBEO				604
01.02.04.01	Tarrajeo con impermeabilizante para captación y bombeo	m2	25.2	24	604
01.02.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS				1,721
01.02.05.01	Tapa metálica para cámara de captación y bombeo	m2	2.0	371	742
01.02.05.02	Rejilla metálica para retención de solidos	m2	1.0	300	300
01.02.05.03	Tapa metálica de inspección	Und	2.0	42	84
01.02.05.04	Escalera Marinera Acero inox. Calidad 304, peldaños 3/4"	M	1.0	235	235
01.02.05.05	Marco y tapa plancha LAC estriada	Und	2.0	180	360
01.02.06	IZAJE, PROVISIÓN Y COLOCADO				552
01.02.06.01	Mecanismo de Izaje y compuerta de regulación	Jgo	2.0	150	300
01.02.06.02	Provisión y colocado de junta water stop de P.V.C. e=6"	m	7.2	35	252
01.02.07	CAJA DE VALVULAS				587

01.02.07.01	CAJA					349	
01.02.07.01.01	Concreto f'c 175 kg/cm2 p/cajas (Cemento P-V)	m3	0.3	355	103		
01.02.07.01.02	Encofrado (incl. habilitación de madera) para muro recto	m2	5.3	46	246		
01.02.07.02	TECHO					238	
01.02.07.02.01	Concreto f'c 175 kg/cm2 para muros de cámaras, cajas	m3	0.1	326	26		
01.02.07.02.02	Encofrado (incl. habilitación de madera) para muro recto	m2	1.1	46	50		
01.02.07.02.03	Tapa de concreto armado f'c 210 kg/cm2 de espesor = 10 cm	m2	1.4	113	163		
1.03	MURO DE CONTENCIÓN						76,905
01.03.01	TRABAJOS PRELIMINARES					571	
01.03.01.01	Trazo y replanteo inicial para caseta de bombeo	und	1.0	323	323		
01.03.01.02	Replanteo final de la obra para caseta de bombeo	und	1.0	248	248		
01.03.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS					33,352	
01.03.02.01	Excavaciones en terr. normal saturado c/excavadora para muro de contención	m3	483.8	11	5,322		
01.03.02.02	Refine, nivelación y compactación en terreno normal saturado a pulso	m2	174.9	15	2,624		
01.03.02.03	Relleno compactado en terreno normal saturado a pulso	m3	61.4	87	5,344		
01.03.02.04	Eliminación de desmonte en terreno normal saturado R=20 km con maquinaria	m3	527.9	38	20,062		
01.03.03	CONCRETO SIMPLE					1,631	
01.02.03.01	Concreto f'c 140 kg/cm2 para solados de muros de contención (Cemento P-V)	m3	5.5	295	1,631		
01.03.04	CONCRETO ARMADO					41,351	
01.03.04.01	MURO					41,351	
01.03.04.01.01	Concreto f'c 280 kg/cm2 /Muro de contención (Cemento P-V)	m3	56.6	417	23,611		
01.03.04.01.02	Encofrado (i/habilitación de madera) p/ Muro de contención	m2	246.7	26	6,413		
01.03.04.01.03	Acero estruc.trabaj.p/Muro de contención (costo prom.i/desp.)	kg	2831.8	4	11,327		
1.04	LOSA PARA PLANTA COMPACTA DE LODOS ACTIVADOS						13,244
1.04.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS					1,305	
1.04.01.01	Relleno compactado en terreno normal saturado a pulso	m3	15.0	87	1,305		
01.04.02	CONCRETO SIMPLE					2,123	
01.04.02.01	Concreto f'c 100 kg/cm2 para solados de losas (Cemento P-V)	m3	7.5	283	2,123		
01.04.03	CONCRETO ARMADO					9,816	
01.04.03.01	Concreto f'c 210 kg/cm2 para losas macizas (Cemento P-V)	m3	25.0	361	9,025		
01.04.03.02	Encofrado (incl. habilitación de madera) para losas macizas	m2	16.3	45	731		
01.04.03.03	Junta de dilatación con relleno asfáltico	m	15.0	4	60		
1.05	LÍNEA DE IMPULSION DE AGUA RESIDUAL (3")						6,924
01.05.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA					5,520	
01.05.01.01	Suministro de tubería y accesorios	m	80.0	43	3,440		
01.05.01.02	Instalación de tubería y accesorios	m	80.0	26	2,080		
01.05.02	VALVULAS					1,404	
01.05.02.01	Suministro de válvulas de 3"	m	3.0	468	1,404		
1.06	EQUIPAMIENTO						287,760
01.06.01	PLANTA COMPACTA DE LODOS	jgo	1.0	270,760	270,760		

ACTIVADOS – MERINSAC (45.2 m3/día)

01.06.02	BOMBAS, FLETE, INSTALACIÓN				17,000
01.06.02.01	Bomba 3HP, desagüe marca "Pedrollo"	und	2.0	4,660	9,320
01.06.02.02	Flete e Izaje para Planta compacta de tratamiento de aguas residuales (9.5Tn)	jgo	1.0	3,000	3,000
01.06.02.03	Suministro e instalación de válvulas cpta.2" diam. Abrazadera 3" x 2"	und	10.0	468	4,680
<hr/>					
	Costo Directo				402,162
	Gastos Generales y Utilidad10%				40,216
	Imprevistos 5%				20,108
<hr/>					
	TOTAL PRESUPUESTO				462,487
<hr/>					

Álbum Fotográfico



Foto N°1: Identificación de las redes de desagüe



Foto N°2: Inspección de los buzones



Foto N°3: Inspección de los buzones



Foto N°4: Inspección de los buzones

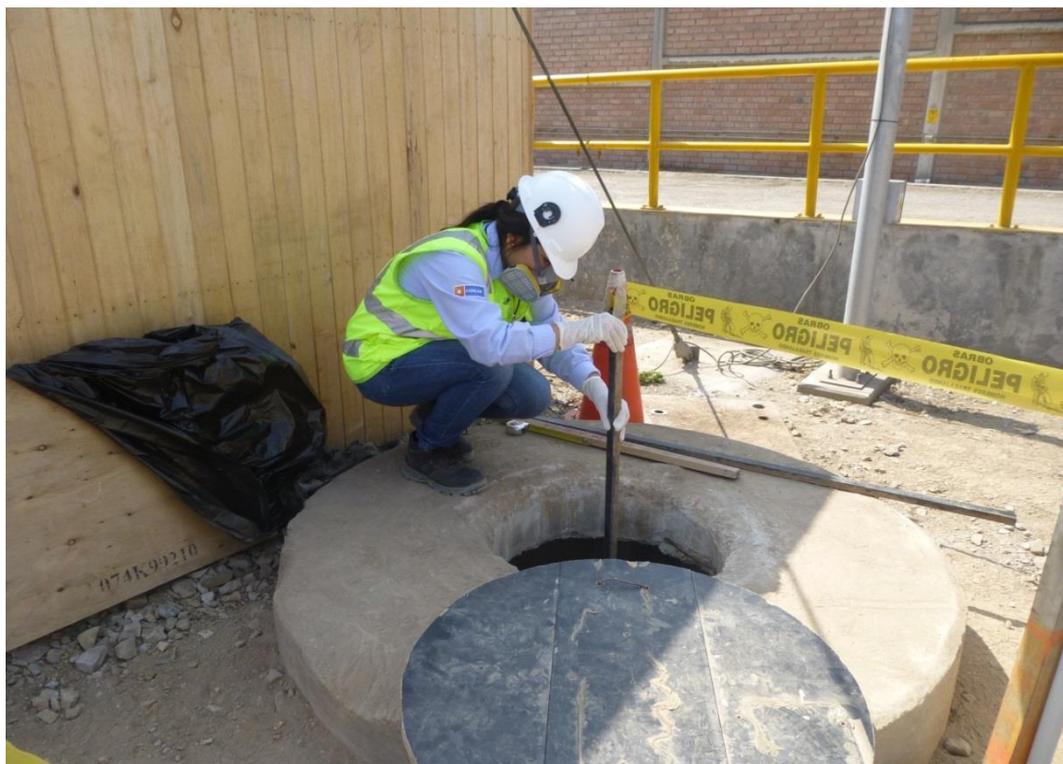


Foto N° 5: Aforo del buzón 28 (método del vertedero 90°)



Foto N° 6: Aforo del buzón Bz 28 (método del vertedero 90°)

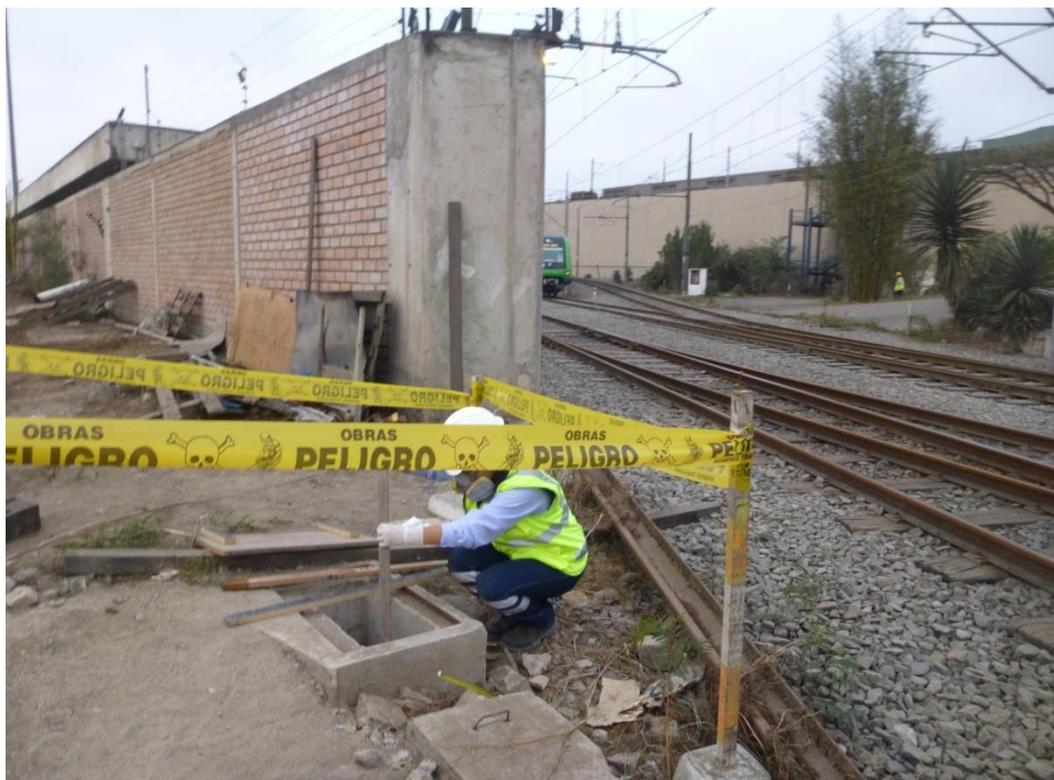


Foto N° 7: Aforo de la caja de registro CR 2 (método del vertedero 45°)



Foto N° 8: Aforo del buzón A (Método volumétrico)



Foto N°9: Vista panorámica del segundo nivel del Patio Taller



Foto N°10: Diferencia de cotas entre el primer y segundo nivel del Patio Taller



Foto N°11: Diferencia de cotas entre el segundo y tercer nivel del Patio Taller



Foto N°12: Áreas verdes del primer nivel



Foto N°12: Áreas verdes del segundo nivel



Foto N°12: Talud del tercer nivel en estado crítico (Áreas verdes potenciales)



Foto N°13: Cultivo propuesto para el talud del tercer nivel (*Áptenia Cordifolia*)



Foto N°14: Cultivo propuesto para el talud del tercer nivel (*Áptenia Cordifolia*)



merinsac
TECNOLOGÍA EN AGUA Y PROCESOS
Mercantil Interamericana SAC

PROPUESTA TECNICA

Propuesta elaborada para:

CONCAR S.A.

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA

**Capacidad de Tratamiento
45 m³/día**

Atención:

Ing. Vanessa Prado Orellana

Julio del 2014



Distributor
GE
Water & Process Technologies

Direc. Jr. Antenor Rizo Patrón N° 157 Lima 34 Telf. (+511) 444-8215 Fax. (+511) 444-8376

Email. merinsa@merinsa.com www.merinsa.com





1. INTRODUCCIÓN

MERINSAC en base a la información enviada por Concar S.A.C., ha optado por una tecnología de Lodos activados aeración extendida, diseñada para tratar agua residual doméstica proveniente de los servicios higiénicos, duchas y cocina con trampa de grasa.

CARACTERIZACIÓN ASUMIDA POR MERINSAC DEL AGUA DE INGRESO, AFLUENTE ES LA SIGUIENTE:

Parámetros	Unidades	Valores
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	Aprox. 400
Sólidos totales suspendidos	mg/l	Aprox. 300
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1×10^8
Aceites y Grasas	mg/l	< 20

Objetivo de Cumplimiento

La planta de tratamiento de agua residual permitirá obtener agua tratada de acuerdo al Decreto Supremo DS N° 002-2008 MINAN.

2. BASE DE DATOS

Tipo de Afluente	: Agua residual Doméstica
Caudal de diseño	: 45 m ³ /d
Caudal promedio Horario	: 1.9 m ³ /h
Caudal Máximo Horario	: 2.5 m ³ /h
Caudal Mínimo Horario	: 1.3 m ³ /h
Ubicación	: Lima
Altitud	: ≤ 200 m.s.n.m.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

El proceso de lodos activos aeración extendida es flexible pudiendo adaptarse fácilmente, las bacterias en este proceso son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente.





Del mismo modo que es importante que las bacterias asimilen la materia orgánica tan rápidamente como sea posible, también lo es que formen un floculo adecuado, puesto que ello es un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la etapa de sedimentación.

El agua residual, por su naturaleza, contiene gran cantidad de sustancias contaminantes e infecciosas, así como residuos sólidos, lo que impide ser vertida directamente en cursos de agua superficial (canales, lagos, ríos), utilizarla para riego agrícola o infiltrarla sobre el terreno. Es por esta razón que se hace imprescindible degradar la carga orgánica que contiene esta agua, tratándola en una planta depuradora de aguas residuales, a fin de remover sus agentes contaminantes y dejarla en condiciones aptas para su evacuación o disposición final.

El sistema de tratamiento obtiene la calidad de agua requerida, siempre que el ingreso corresponda a agua doméstica, la cual no debe tener residuos industriales líquidos, metales y otros parámetros que excedan la caracterización típica de las aguas domésticas. No considera descarga de camiones limpia fosas u otras que afecten al promedio general de la carga orgánica (DBO₅).

Las plantas de tratamiento por aeración extendida constan de los siguientes procesos:

3.1. RETENCIÓN DE SÓLIDOS

Para retención de sólidos gruesos, de tamaños sensiblemente grandes, mediante una rejilla colocada a la descarga de la tubería del afluente. Los desechos son retirados manualmente. Los mismos que podrían generar problemas de obstrucción en las bombas tales como maderas, plásticos, trapos, botellas, latas y otros sólidos.

3.2. CÁMARA DE ECUALIZACIÓN

Para homogenizar el agua que ingresará al tratamiento, independiente de los flujos o cargas de entrada. Con esto se evitan trastornos en el proceso, por causa de picos hidráulicos y orgánicos, así como un sobredimensionamiento de la planta.

El agua será impulsada hasta la cámara de aeración, mediante dos bombas sumergibles, de funcionamiento alternado, con la finalidad de entregar un volumen constante de efluente.

En esta cámara se realizará una pre-aireación para homogenizar el efluente y evitar sedimentación del efluente.

3.3. CÁMARA ANOXICA

Luego que el efluente ha sido homogenizado, ingresará a esta cámara Anóxica, la cual tiene como objetivo brindar las condiciones adecuadas para que se realice la segunda etapa para la eliminación del nitrógeno, la denitrificación.

Las condiciones requeridas son:





- Suficiente concentración de nitratos.
- Condiciones anóxicas.
- Presencia de materia orgánica, como fuente de energía necesaria para la reacción de reducción, mostrada líneas abajo.
- Ausencia de sustancias tóxicas.

3.4. CÁMARA DE AIREACIÓN

Luego que el efluente ha sido homogenizado, ingresará a esta cámara de aireación donde es mezclado con el lodo activado y aireado. El aire, proveniente del soplador es conducido a los tanques de aireación por tubos de acero galvanizado que terminan en difusores dentro de la masa de agua.

Los difusores dispersan y dividen el aire en pequeñas burbujas, de esta forma, mayor cantidad de aire entra en contacto con el líquido y acelera el proceso de digestión aeróbica. Las bacterias aeróbicas toman el oxígeno para degradar la materia orgánica de las aguas servidas, transformándolas en líquidos y gases inodoros.



Procedencia: USA



Difusores de Burbuja Fina:

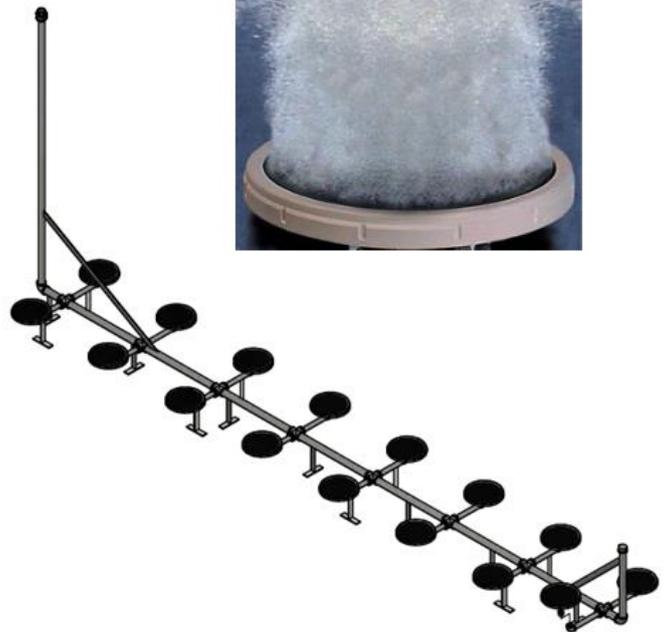


Material de Membrana: **PTFE**

Mejor que EPDM

Mayor resistencia y vida Útil

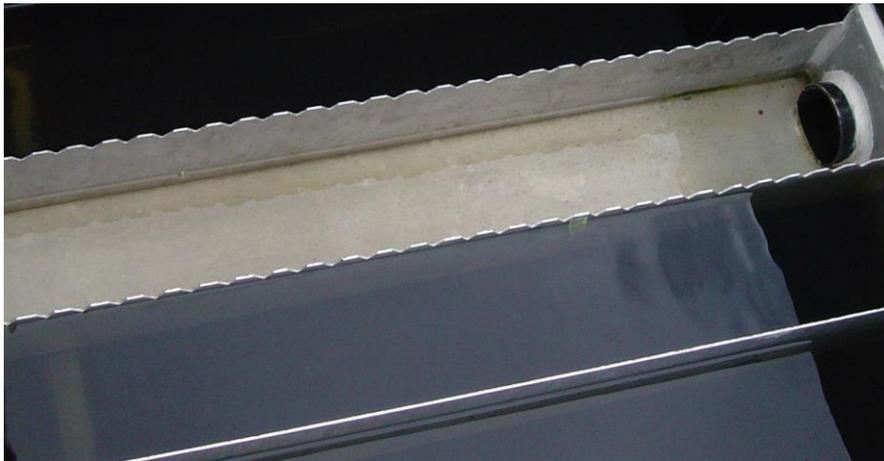
Procedencia: USA





3.5. CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

En esta etapa líquido se mueve a una velocidad muy baja, con la intención de que los sólidos remanentes puedan sedimentar en el fondo del tanque y regresar a la cámara de aireación por el sistema de retorno de lodos o airlift. Cualquier partícula parcialmente tratada que haya quedado en suspensión en el líquido, sedimentará en este pozo de calma, deslizándose por la pared inclinada de la cámara de sedimentación.



Producción Estimada de Lodos: 0.8 m³/d

3.6. CÁMARA DE CONTACTO

También conocida como cámara de desinfección, cuyo objetivo es la reducción de los organismos patógenos en el efluente. Consiste en la dosificación de hipoclorito de sodio o calcio, el cual será aplicado al inicio de la cámara de contacto, con un tiempo de retención estimado de 45 minutos.



3.7. SISTEMA DE FILTRACION

La remoción de fósforo, se realiza mediante precipitación química, dosificando cloruro férrico, para lograr la precipitación de los fosfatos, formando los flocs que serán retenidos en los filtros de clarificación y carbón activado.





4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ITEM	ETAPA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Retención de Sólidos	Canastilla Metálica, con una separación de 20 – 25 mm. (Por el cliente)	01 Unid
2	Cámara de Ecuilización	Cámara de Acero A36 con recubrimiento epóxico. Forma: Rectangular. Volumen útil aprox. de 11 m ³	01 Unid
		Bombas Sumergibles, para transferencia del fluido, con sus respectivos sensores de nivel. Marca: Pedrollo o similar.	02 Unid
3	Cámara Anóxica	Cámara de Acero A36 con recubrimiento epóxico. Forma: Rectangular. Volumen útil aprox. de 9 m ³ .	01 Unid
4	Cámara de Aeración	Cámara de Acero A36 con recubrimiento epóxico. Forma: Rectangular. Volumen útil aprox. de 56 m ³ . Tiempo de retención: 30 h	02 Unid
		Sopladores (Blower) para suministro de Aire, incluye: Válvula de alivio Filtro de admisión Silenciador Motor WEG 380 V, Trifásico Base y cubierta de protección. Marca: Sutorbilt o similar.	02 Unid
		Juego de Difusores de Aire de Burbuja Fina, Marca: Stamford Scientific International Inc, (SSI) Incluye: árboles de difusores.	01 Global





5	Cámara de Sedimentación	Cámara de Acero A36 con recubrimiento epóxico. Forma: Tronco-piramidal Volumen útil aprox. de 8 m ³ . Tiempo de retención: 4 h	02 Unid
		Vertedero para recolección de efluente	01 Unid
		Airlif para retorno de lodos	01 Unid
		Skimmer para retorno de natas	01 Unid
6	Cámara de Contacto	Material: Polietileno Volumen útil aprox. de 2.5 m ³ . Tiempo de retención: 60 min	01 Unid
		Bomba dosificadora de Cloro Marca: Pulsafeeder, Seko o similar.	01 Unid
		Tanque para preparación de solución de cloro Capacidad: 80 L	01 Unid
		Bomba dosificadora de Cloruro Férrico Marca: Pulsafeeder, Seko o similar.	01 Unid
7	Tratamiento Terciario	Tanque para preparación de solución de cloro Capacidad: 80 L	01 Unid
		Bomba Centrífuga Marca de Bomba: Salmson o similar Marca de Motor: WEG	02 Unid
		Filtro Clarificador Automático de Ø 21" x H 72" con Válvula Performa Marca: GE Pentair	01 Unid
		Filtro de Carbón activado Automático de Ø 21" x H 72" con Válvula Performa Marca: GE Pentair	01 Unid
8	Tablero Eléctrico	Tablero de fuerza y control, para alimentación y control de bombas y motores, grado de protección Nema 4.	02 Unid





9	Líneas de Interconexión	Las líneas de aire serán de PVC Sch 80 y acero galvanizado, con diámetro de 2½" 2" y 1½". Las líneas de agua para interconexión de entre tanques serán de PVC Sch 80, con diámetro de 2".	01 Global
10	Peso	Peso estimado de la Planta sin carga Peso estimado de la Planta con carga	9.5 Ton. 99 Ton.
11	Área Requerida	Aprox. 20 m x 3 m, además de una caseta de un área de 6 m x 3 m.	

5. CALIDA DE AFLUENTE Y EFLUENTE

Parámetros	Afluente	Efluente
DBO (mg/L)	400	< 15
DQO (mg/L)	700	-
OD (mg/L)	-	≥ 3
SST (mg/L)	300	< 50
Aceites y Grasas (mg/L)	< 20	< 1
pH	7 - 8	6.5 – 8.5
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	1 x 10 ¹⁰	< 5 x 10 ³
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	1 x 10 ⁸	< 1 x 10 ³

Nota: La planta de tratamiento de agua residual, ha sido diseñada para cumplir con el D.S. 002-2008-MINAM.





6. DESCRIPCIÓN DE LOS SERVICIOS

PROGRAMACION

Los proyectos de MERINSAC, que se definan desde el pedido hasta la entrega final, se pueden subdividir en las siguientes etapas:

- ❖ Fase de ingeniería
- ❖ Fase de fabricación
- ❖ Fase de instalación
- ❖ Fase de puesta en marcha y de prueba

6.1. INGENIERIA

Elaboración de un dossier de calidad, con la siguiente documentación:

- Memoria Descriptiva.
- Especificaciones Técnicas del Equipamiento.
- Plano de diagrama de proceso
- Planos de proceso, mecánicos y eléctricos.
- Manual de Operación y mantenimiento.

6.2. FABRICACION

Las unidades de tratamiento, equalizador, aireador, sedimentador y clorador son fabricados en acero A36 con recubrimiento epóxico.

6.3. INSTALACION

El servicio de instalación será realizado por 4 técnicos especializados, quienes serán direccionados por uno de nuestros ingenieros encargado de la supervisión del montaje.

Como parte del servicio se incluye los materiales requeridos para el conexionado eléctrico y sanitario de todos los equipos que conforman la planta (Blowers, difusores, bombas, tablero eléctrico, etc.), incluyendo las líneas de agua, aire y retorno de lodos, escalera, barandas y gratings.

Todo nuestro personal cuenta con su respectivo seguro SCTR de Salud y Pensión, así como con su equipo de protección personal (EPP) y las herramientas necesarias para la instalación.

Estamos considerando que el agua residual llegará a la planta por bombeo desde la cámara de bombeo de desagüe.

Se estima un tiempo de instalación de 8 días.





6.4. PUESTA EN MARCHA

Se requiere de un periodo de puesta en marcha, de aproximadamente 4 semanas, para realizar las calibraciones y ajustes necesarios que conlleven a la estabilización del crecimiento biológico de las bacterias requeridas para la degradación de la materia orgánica. Culminado este tiempo se podrá obtener la calidad de agua requerida a la salida de la planta, según los datos mostrados en el ítem 5.

El servicio se realizará durante un tiempo estimado de 5 días, por un técnico especializado, durante esta etapa se capacitará al personal a cargo de la operación de la planta de tratamiento, dejando las indicaciones necesarias para que continúe con el proceso de puesta en marcha.

En caso que los valores del agua residual a tratar sean mayores a lo considerado en el diseño de la planta y en general cualquier modificación no indicada en esta propuesta, por motivos ajenos a MERINSA, se considerará con un adicional.

En el caso de que el cliente requiera de tiempo adicional en sus instalaciones, se ofrece el servicio técnico bajo la siguiente tarifa: \$ 150.00 (USD) por día.

7. ALCANCE ESPECÍFICOS DE TRABAJO

Durante este servicio, los alcances nuestros serán los siguientes:

- ❖ Suministro de equipos descritos en la sección 3.
- ❖ Elaborar un dossier de calidad: memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de las especialidades que apliquen.
- ❖ Elaborar Manual de operación y mantenimiento de la planta, el acta de Puesta en Marcha o Servicio y el Cronograma del proyecto
- ❖ Proporcionar un Ingeniero Supervisor de Obra.
- ❖ Responsables de la instalación y puesta en marcha del equipamiento ofertado.
- ❖ Suministrar los materiales necesarios para la instalación del equipamiento ofertado.
- ❖ Alimentación y alojamiento del personal a cargo de la instalación, puesta en marcha y operación de la PTAR.

8. EXCLUSIONES DEL SERVICIO

El alcance del estudio no incluye los siguientes:

- ❖ Estudios, tramitaciones y permisos de funcionamiento de la planta.
- ❖ Disposición de los efluentes y residuos de la planta.
- ❖ Supervisión de las obras civiles.
- ❖ Conexiones de ingreso y salida de agua al sistema de tratamiento.
- ❖ Equipos, materiales y/o servicios no especificados en la propuesta.
- ❖ Toma de muestras y análisis de calidad de agua.



9. FACILIDADES DEL CLIENTE

Son alcances son los siguientes:

- ❖ Transporte del equipamiento a obra.
- ❖ Facilitar equipo de izaje incluido el operador, rigger y venteros (ayudante de grúa) para la descarga de los equipos desde el camión de envío y para la ubicación de estos según planos entregados por Merinsac. El cliente será responsable de izaje y montaje.
- ❖ Acondicionar el área para la instalación de la planta conforme a las especificaciones Técnicas recomendadas por Mercantil Interamericana.
- ❖ En el caso de que el cliente solicite que se coloquen los equipos en distancias mayores a las observadas en los Planos a entregar, se tendrán que realizar con cargo al cliente.
- ❖ Entregar la acometida eléctrica a colocar en la zona (Merinsac entregará Plano de ubicación y detalles de tensiones a necesitar).
- ❖ Suministro, de ser el caso, de un transformador apropiado para alcanzar los niveles de tensión requeridos.
- ❖ Suministro de pozos a tierra (fuerza y control) para el funcionamiento de la planta, lo cual deberá ser realizado según estándares del cliente
- ❖ Disponer y suministrar de un área según indicaciones de los planos proporcionados por Merinsac, con una iluminación exterior y cerco perimétrico, para la colocación de los equipos propuestos.
- ❖ Se encargará de todas las obras civiles necesarias y el techo de protección para los equipos.
- ❖ Suministrar cisterna y equipos de bombeo de desagüe, en caso requiera.
- ❖ Suministrar las trampas de grasas en el área de cocina, y la trampa de sólidos en el área de lavandería.
- ❖ Disposición del efluente tratado hacia un cuerpo receptor o para reúso, según corresponda.
- ❖ Disposición y/o tratamiento de lodos en exceso.
- ❖ Punto de agua para preparación de soluciones y mantenimiento de la planta a una presión mínima de 10 psig.
- ❖ Suministro de los productos químicos y consumibles para la correcta puesta en marcha y operación de la planta.
- ❖ Dar los accesos y permisos dentro de sus instalaciones para las correspondientes maniobras instalación y puesta en marcha.
- ❖ Disponer del personal para la capacitación de la operación de la planta en el momento que sea requerido.





10. EXPERIENCIA EN PROYECTOS SIMILARES

Tenemos experiencia en suministro y operación en diversos sistemas de tratamiento de agua de diversas empresas como:

- ❖ Minera La Zanja SRL - Buenaventura: Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica.
- ❖ Minera La Zanja SRL - Buenaventura: Planta de Tratamiento de Agua Potable, con fierro y manganeso.
- ❖ Catalina Huanca Sociedad Minera SAC: Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica, con sistema de reducción de fósforo y nitrógeno.
- ❖ Empresa Administradora Chungar SAC – Volcán: Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica.
- ❖ Compañía Minera Gold Fields La Cima: Planta de Filtración para tratar Efluentes mineros de capacidad de 180LPS.
- ❖ Compañía Minera Gold Fields La Cima: Planta Potabilizadora de Remoción de Hierro, Manganeso, Arsénico y Plomo, de capacidad de 10 LPS.
- ❖ Compañía Minera Gold Fields La Cima: Planta Piloto para tratar efluentes mineros, descarga cero.
- ❖ Club Regatas Lima: Sistema de aireación y servicio de puesta en marcha, para Planta de Agua Residual Doméstica.
- ❖ Sociedad Minera Cerro Verde (Flúor): Plantas Potabilizadoras en contenedor.





11. PROCEDIMIENTOS DIARIOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Realice una inspección visual diaria de la planta para asegurarse que todos los equipos estén operando. Llenar un reporte diario.
- Compruebe que los sistemas de dosificación, estén funcionando. Reponer solución de cloro y cloruro férrico cuando se necesario.
- Verifique que haya una igual distribución de aire en la cámara de aeración.
- Compruebe que el airlift esté retornando lodo activados. Algunas veces se produce obstrucción en la tubería.
- Verifique y regule el funcionamiento el Skimmer.
- Medir % de Lodos en Cámara de Aeración.
- Limpie la rejilla de ingreso y elimine los desperdicios recogidos como plásticos, papeles, trapos, etc., colóquelos en un recipiente adecuado.
- Limpie la grasa y los sólidos flotantes de la cámara de aeración y de la cámara de sedimentación.
- Limpie las paredes de la cámara de aeración, sedimentación y desinfección.
- Verifique en el tablero eléctrico, si hay alguna sobrecarga.
- En el caso de presentarse alguna contaminación por grasas y detergentes, deberá reportarse inmediatamente.
- En el caso que se presente una falla de equipos, deberá reportarse.
- Limpie la basura y las malezas de los alrededores de la planta y del equipo.
- Los trabajos de mantenimiento de equipos son elaborados por personal asignado para estos trabajos.





merinsac
TECNOLOGÍA EN AGUA Y PROCESOS
Mercantil Interamericana SAC

PROPUESTA ECONÓMICA

Propuesta elaborada para:

CONCAR S.A.

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA

**Capacidad de Tratamiento
45 m³/día**

Atención:

Ing. Vanessa Prado Orellana

Julio del 2014



Distributor
GE
Water & Process Technologies

Direc. Jr. Antenor Rizo Patrón N° 157 Lima 34 Telf. (+511) 444-8215 Fax. (+511) 444-8376
Email. merinsa@merinsa.com www.merinsa.com





1. PROPUESTA ECONOMICA

ÍTEM	CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
01	01 unid.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA 45 m³/d <u>Incluye el suministro, instalación y puesta en marcha de todos los equipos indicados en la propuesta técnica.</u>	US\$ 111,000.00

2. TERMINOS Y CONDICIONES DE LA OFERTA

Notas de Precios

- ❖ Todos los precios son en dólares americanos.
- ❖ Los precios no incluyen el IGV.
- ❖ Los términos y condiciones del contrato deberán respetar los Términos y condiciones de venta de MERINSAC.

Tiempo de Entrega

La entrega de los equipos tendrá lugar en un plazo de 6 a 8 semanas después de la aceptación de la siguiente documentación:

- ❖ La Orden de compra firmada por el cliente.
- ❖ El primer pago.
- ❖ Documentos necesarios, como la aprobación del layout y resto de datos relevantes para el comienzo y realización de los trabajos.

Condiciones de Entrega

En nuestros almacenes en Lima.

Condiciones de Pago

- ❖ 50% del total del contrato como primer pago irrevocable en el momento del pedido dentro de un plazo de 8 días.
- ❖ 45% del total del contrato contra entrega del equipamiento.
- ❖ 5% del total del pedido en el momento de que la instalación se encuentre en marcha.

Los pagos se realizarán netos MERINSAC a la cuenta bancaria que esta indique.

Los importes establecidos en este documento no incluyen impuestos, tasas y otros cargos de aplicación.





Validez

La presentación de esta propuesta es válida por 30 días calendarios.

Riesgo después de la Entrega:

El riesgo de pérdida de mercancía, o parte de los equipos, pasa a ser del comprador tan pronto como MERINSAC se los entrega.

A partir de ese momento debe tenerse en cuenta la contratación del seguro que se considere necesario

Aceptación

En el momento que el equipo/instalación cumpla con las especificaciones técnicas y esté listo para la prueba de entrega MERINSAC se lo comunicará al cliente.

El equipo/instalación se considerará aceptado si la prueba de entrega es satisfactoria en el sentido en que se cumplen las especificaciones acordadas.

En caso que durante la puesta en marcha apareciera algún defecto y este no afectara seriamente al funcionamiento del equipo/instalación, el equipo/instalación nunca se considerará NO ACEPTADO; MERINSAC lo corregirá de acuerdo con las condiciones de garantía establecidas en el contrato.

Garantía Mecánica:

MERINSAC garantiza que todo el material y equipos suministrados bajo contrato, están de acuerdo con el alcance del suministro y que cualquier variación realizada ha sido acordada por escrito entre ambas partes.

El periodo de garantía se inicia después de la puesta en marcha de la instalación/equipo o después de que MERINSAC haya enviado la documentación, manuales y el protocolo de aceptación; y en ningún caso excederá los 3 meses después que se haya informado que el equipo está listo para su envío.

El periodo de garantía es de 12 meses desde su entrada en vigor. Durante el periodo de garantía MERINSAC corregirá todos los defectos de la instalación cubierta bajo garantía y siempre que estos no sean debidos a desgaste por uso o manipulación fuera de lo establecido en los manuales de uso e instrucciones facilitadas por MERINSAC.

Responsabilidad por daños indirectos:

MERINSAC declina cualquier responsabilidad por pérdidas de explotación, y/o cualquier otra forma de perjuicio indirecto o resultante a terceros, a menos que sean imputables a MERINSAC por negligencia grave.





Programa del Proyecto

Los proyectos de MERINSAC, que se definan desde el pedido hasta la entrega final, se pueden subdividir en fases:

- ❖ Fase de ingeniería
- ❖ Fase de fabricación
- ❖ Fase de instalación
- ❖ Fase de puesta en marcha

Comentarios:

- ❖ El suelo debe ser suficientemente estable para realizar la obra civil. Las obras civiles tienen que ser construidas / erigidas de tal manera que se impida el daño causado por circunstancias ambientales (por ejemplo heladas, tormentas (de arena), terremotos, erupciones volcánicas.).
- ❖ En caso de que el sistema de tratamiento de aguas sea operado a menos del 80% de la carga de contaminación diaria o la carga hidráulica diaria como se estableció en las características de agua residual, puede ser que se requieran modificaciones o ajustes a los sistemas. Cualquier costo que se incurra por estas modificaciones o ajustes serán por cuenta del comprador.
- ❖ MERINSAC hará todo lo posible - a riesgo y cuenta del cliente - para encontrar formas, si técnicamente factible, para satisfacer todas las normas adicionales requeridas por las autoridades del país del cliente.
- ❖ El cumplimiento de todos los requisitos de seguridad está influenciado por factores sobre los que MERINSAC tiene poco o ningún control, como son instalación, layout, acústica, materiales usados en el proceso, trámites de proceso, trámites de seguridad, mantenimiento, capacitación y gestión de producción. En este sentido, MERINSAC no puede garantizar que los materiales cumplan con todas las normas locales. El cliente es responsable de asegurar que las autoridades locales inspeccionen las mercancías, por lo que se refiere a seguridad y condiciones de trabajo, antes de la puesta en marcha de la instalación, todo esto por cuenta y riesgo del cliente.

Dirección Del Proyecto

Inmediatamente después de que MERINSAC haya aceptado el pedido, la dirección de MERINSAC designa un equipo adecuado para la realización del proyecto, consistente en uno, o más ingeniero (s) mecánico(s), ingeniero(s) eléctrico(s) y, dependiendo del volumen y naturaleza del proyecto, otros especialistas (químicos, en software, etc.), así como también personal administrativo.

Este equipo, bajo la responsabilidad del project manager (director del proyecto), correrá a cargo de las obligaciones de MERINSAC especificadas en el contrato.





merinsac
TECNOLOGÍA EN AGUA Y PROCESOS
Mercantil Interamericana SAC

El Project manager dará al cliente toda la información relevante concerniente al proyecto, y también será el primer punto de contacto con MERINSAC para ese proyecto. De este modo se establece una comunicación eficaz, evitando los posibles e innecesarios malentendidos, retrasos, etc.

Seguidamente a su introducción, nuestro Project manager presentará un planning detallado, especificando los tiempos de ejecución del proyecto, con todos los puntos de decisión parar/seguir que requieren la acción del cliente, pero que no están limitados a: la recepción del pago, aprobación de la confirmación de pedido, aprobación del layout, etc.

A la espera de sus gratas órdenes, quedamos de usted.

Atentamente,

Ing. Carmen Tenorio F.
Div. Ingeniería y Proyectos



Distributor
GE
Water & Process Technologies

Direc. Jr. Antenor Rizo Patrón N° 157 Lima 34 Telf. (+511) 444-8215 Fax. (+511) 444-8376

Email. merinsa@merinsa.com www.merinsa.com

