



# **Proyecto Final Integrador**

## **Ingeniería Ambiental**

*Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria cítrica ubicada en el municipio de Bella Vista, provincia de Tucumán.*

**Tutora:** Ing. Ruth Alejandra Rodriguez

**Alumna:** Erika Beatriz Rubiolo

**Legajo N°:** CYT-7472

**Año de realización:** 2023

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>8</b>
2.1. Objetivos generales	8
2.2. Objetivos específicos	8
<b>3. Diagnóstico de la situación actual</b>	<b>9</b>
<b>4. Estudios preliminares</b>	<b>11</b>
4.1. La industria cítrica	11
4.2. Localización del área de implantación del proyecto	12
4.3. Diagnóstico ambiental del área afectada por el proyecto	13
4.3.1. Municipio de Bella Vista	13
4.3.2. Cuenca del Río Salí-Dulce	13
4.4. Descripción del proceso productivo del proyecto	15
4.4.1. Recepción de la fruta	16
4.4.2. Selección manual	16
4.4.3. Clasificación por tamaño	16
4.4.4. Extracción del aceite esencial	16
4.4.5. Obtención de jugo y pulpa	17
4.4.6. Concentración del jugo	18
4.4.7. Deshidratación de cáscara	18
4.4.8. Lavado y sanitización de la planta industrial	19
4.4.9. Diagrama de flujo	19
4.5. Generación de residuos sólidos, semisólidos, efluentes líquidos y emisiones gaseosas	20
4.5.1. Efluentes líquidos	20
4.5.1.1. Efluente industrial	20
4.5.1.2. Efluente cloacal	22
4.5.2. Residuos sólidos y semisólidos	22
4.5.3. Emisiones gaseosas	23
4.6. Marco legal	23
<b>5. Análisis de las alternativas de tratamiento</b>	<b>24</b>
5.1. Descripción de las alternativas de tratamiento	25
5.1.1. Pretratamiento	25
5.1.1.1. Sistema de rejas	25
5.1.1.2. Sistema de tamices	26
5.1.1.3. Tanque de compensación	26
5.1.2. Tratamiento primario	26
5.1.2.1. Coagulación-Floculación	27
5.1.2.2. Flotación por aire disuelto (DAF)	28
5.1.3. Tratamiento secundario	29
5.1.3.1. Alternativa A	29
5.1.3.2. Alternativa B	32

5.1.4. Tratamiento terciario	35
5.1.5. Tratamiento de lodos	35
5.1.6. Cámara de toma de muestras y medición de caudales	37
5.2. Comparación de las alternativas de tratamiento	37
<b>6. Memoria descriptiva</b>	<b>40</b>
6.1. Pretratamiento	40
6.1.1. Sistema de rejas medias	40
6.1.2. Sistema de rejas finas	40
6.1.3. Sistema de tamices	41
6.2. Tratamiento primario	43
6.2.1. Coagulación	43
6.2.2. Floculación	45
6.2.3. Flotación por aire disuelto (DAF)	47
6.3. Tanque de compensación	48
6.4. Tratamiento secundario (Alternativa A)	49
6.4.1. Reactor UASB	49
6.4.2. Reactor de lodos activados	50
6.4.3. Sedimentador secundario	51
6.5. Tratamiento secundario (Alternativa B)	53
6.5.1. Diseño de la laguna anaerobia	54
6.5.2. Diseño de la laguna facultativa	54
6.6. Tratamiento terciario	55
6.7. Tratamiento de lodos	57
6.8. Sistema de conducción e impulsión del efluente	57
6.9. Esquemas de la planta de tratamiento	58
<b>7. Memoria de cálculo de diseño</b>	<b>60</b>
7.1. Caudales de generación	60
7.2. Pretratamiento	61
7.2.1. Sistema de rejas medias	61
7.2.2. Sistema de rejas finas	65
7.2.3. Sistema de tamices	65
7.2.4. Tanque de compensación	66
7.2.4.1. Dimensionamiento	66
7.2.4.2. Sistema de aireación	68
7.3. Tratamiento primario	70
7.3.1. Coagulación	70
7.3.1.1. Dimensionamiento	70
7.3.1.2. Equipo de mezcla	72
7.3.1.3. Cantidad de coagulante necesario	72
7.3.1.4. Cantidad de corrector de pH necesario	73
7.3.2. Floculación	74
7.3.2.1. Dimensionamiento	74
7.3.2.2. Equipo de mezcla	75
7.3.2.3. Cantidad de floculante necesario	75

7.3.3. Flotación por aire disuelto (DAF)	76
7.3.3.1. Dimensionamiento	76
7.3.3.2. Producción de lodos	78
7.3.3.3. Sistema de aireación	79
7.4. Tanque de compensación	79
7.4.1. Dimensionamiento	79
7.4.2. Sistema de aireación	79
7.5. Tratamiento secundario (Alternativa A)	80
7.5.1. Reactor UASB	80
7.5.1.1. Dimensionamiento	80
7.5.1.2. Eficiencias de remoción de DQO y DBO	82
7.5.1.3. Producción de biogás	83
7.5.1.4. Dimensionamiento del separador trifásico	84
7.5.2. Reactor de lodos activados	86
7.5.2.1. Dimensionamiento	86
7.5.2.2. Producción de lodos	90
7.5.2.3. Sistema de aireación	91
7.5.3. Sedimentador secundario	93
7.5.3.1. Zona de clarificación	94
7.5.3.2. Zona de barros	95
7.5.3.3. Dimensiones del sedimentador secundario	97
7.5.3.4. Zona del vertedero	97
7.5.3.5. Parámetros de salida	99
7.6. Tratamiento secundario (Alternativa B)	101
7.6.1. Diseño de la laguna anaerobia	101
7.6.2. Diseño de la laguna facultativa	103
7.6.2.1. Modelo de Mc Garry y Pescod	103
7.6.2.2. Modelo de Yañez	105
7.6.2.3. Modelo de Cubillos	106
7.6.2.4. Dimensiones de la laguna facultativa	107
7.7. Tratamiento terciario	108
7.7.1. Diseño de la cámara de desinfección	108
7.7.2. Cantidad de desinfectante necesario	110
7.8. Tratamiento de lodos	110
7.9. Selección de alternativa de tratamiento	112
7.10. Sistema de conducción e impulsión del efluente	112
7.10.1. Conducciones a gravedad y a presión	114
7.10.2. Impulsión del efluente	119
<b>8. Cómputo y presupuesto</b>	<b>120</b>
8.1. Inversión inicial	120
8.2. Operación y mantenimiento	123
8.2.1. Insumos químicos	123
8.2.2. Energía eléctrica	123
8.2.3. Mano de obra	124

8.2.4. Gestión de lodos	124
8.2.5. Mantenimiento y gastos imprevistos	125
8.2.6. Costo mensual de operación y mantenimiento	125
8.2.7. Costo unitario de operación y mantenimiento	126
8.2.8. Financiamiento del proyecto	126
<b>9. Estudio de Impacto Ambiental</b>	<b>128</b>
9.1. Resumen ejecutivo	128
9.2. Introducción	129
9.3. Descripción técnica del proyecto	130
9.3.1. Etapa constructiva	130
9.3.2. Etapa operativa	130
9.3.3. Etapa de cierre	130
9.4. Caracterización ambiental del área de influencia del proyecto	131
9.4.1. Determinación del área de influencia del proyecto	131
9.4.2. Medio ambiente físico	132
9.4.2.1. Caracterización climática	132
9.4.2.2. Calidad del aire	136
9.4.2.3. Medición del nivel de ruido	137
9.4.2.4. Hidrología superficial	138
9.4.2.5. Hidrología subterránea	138
9.4.2.6. Calidad del agua superficial	139
9.4.2.7. Calidad del agua subterránea	140
9.4.2.8. Geología y geomorfología	140
9.4.2.9. Topografía	141
9.4.2.10. Edafología	142
9.4.2.11. Muestreo de suelo	143
9.4.3. Medio ambiente biológico	143
9.4.3.1. Ecorregión	143
9.4.3.2. Flora	144
9.4.3.3. Fauna	144
9.4.3.4. Áreas protegidas	144
9.4.4. Medio ambiente socioeconómico	144
9.4.4.1. Generalidades	144
9.4.4.2. Demografía	145
9.4.4.3. Servicios públicos	145
9.4.4.4. Salud	146
9.4.4.5. Educación	146
9.4.4.6. Empleo	146
9.4.4.7. Transporte y conectividad	147
9.4.4.8. Actividades económicas	147
9.5. Identificación y evaluación de impactos ambientales	147
9.5.1. Identificación de acciones del proyecto potencialmente generadoras de impactos ambientales	147
9.5.2. Identificación de los componentes ambientales potencialmente impactados	148

9.5.3. Metodología de evaluación de impactos ambientales	148
9.5.4. Matriz de evaluación de impactos ambientales	150
9.5.5. Descripción de los impactos ambientales	151
9.5.5.1. Etapa constructiva	151
9.5.5.2. Etapa operativa	152
9.5.5.3. Etapa de cierre	153
9.6. Análisis de riesgos ambientales	154
9.6.1. Determinación del grado de certidumbre	154
9.6.2. Determinación de la magnitud de las contingencias	155
9.6.3. Cálculo del riesgo	156
9.6.4. Descripción de los riesgos ambientales del proyecto y su clasificación	156
9.7. Plan de gestión ambiental y social	158
9.7.1. Programa de prevención y mitigación de impactos ambientales	158
9.7.2. Programa de gestión de residuos y efluentes	161
9.7.3. Programa de seguridad industrial y salud ocupacional	162
9.7.4. Programa de capacitación técnico-ambiental	163
9.7.5. Plan de contingencias	164
9.7.5.1. Incendios y explosiones	164
9.7.5.2. Derrames de productos químicos	165
9.7.5.3. Accidentes laborales	166
9.7.6. Programa de cierre y abandono	167
9.7.7. Programa de monitoreo, control y seguimiento	167
9.8. Conclusiones del EsIA	168
<b>10. Planos</b>	<b>169</b>
<b>11. Conclusiones</b>	<b>170</b>
11.1. Conclusiones del proyecto	170
11.2. Conclusiones personales	170
<b>Bibliografía</b>	<b>171</b>
<b>Anexo I: Estudios preliminares</b>	<b>179</b>
<b>Anexo II: Análisis de las alternativas de tratamiento</b>	<b>182</b>
<b>Anexo III: Memoria descriptiva</b>	<b>184</b>
<b>Anexo IV: Memoria de cálculo de diseño</b>	<b>188</b>
<b>Anexo V: Estudio de Impacto Ambiental</b>	<b>193</b>
<b>Anexo VI: Planos</b>	<b>199</b>

---

## Resumen

El presente documento concierne al proyecto de emplazamiento de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria cítrica, en un predio de aproximadamente 15 Ha, en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán, Argentina. Debido a que su capacidad de procesamiento es de 50 mil toneladas de limones por año, y teniendo en cuenta el personal contratado de la industria, el caudal promedio de generación del efluente industrial y cloacal es de 548,00 m<sup>3</sup>/día y 38,70 m<sup>3</sup>/día, respectivamente.

En primer lugar, se realiza un diagnóstico de la situación actual en cuanto a la disposición de los efluentes líquidos de origen cítrico y de las consecuencias que esto provoca en el ambiente. Asimismo, se estudia el proceso productivo de este tipo de industria, se determina la ubicación del proyecto, se desarrolla un diagnóstico ambiental del área afectada por el mismo y se determina la normativa asociada.

En segundo lugar, se proponen dos alternativas de tratamiento que difieren únicamente en el tratamiento secundario. En la primera se plantea el uso de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y un sistema de lodos activados, mientras que, en la segunda, se sugiere el uso de un tren de lagunas de estabilización. Luego, se analizan ambas alternativas mediante una Matriz de Pugh y se realiza la memoria descriptiva y la memoria de cálculo de diseño de las mismas, para seleccionar aquella opción que sea viable en términos ambientales, constructivos y económicos.

Finalmente, se realiza el cómputo y presupuesto de la alternativa seleccionada para definir el costo de inversión inicial, de operación y mantenimiento, y el costo de tratamiento por metro cúbico de efluente, el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para determinar si el proyecto es viable desde el punto de vista ambiental, y los planos correspondientes.

## 1. Introducción

La industria citrícola se considera uno de los pilares económicos más importantes de la provincia de Tucumán, ya que aporta una fuente significativa de empleo y de divisas para la región. Sin embargo, la actividad tiene como consecuencia la generación de residuos sólidos y de efluentes líquidos, que se caracterizan por presentar un bajo pH, altas concentraciones de compuestos orgánicos biodegradables y la presencia de aceite esencial (Zema et al, 2019). Sin un tratamiento y una disposición adecuada de dichos residuos sólidos y de los efluentes líquidos, existe el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua y del suelo.

En este contexto, el presente proyecto contempla el diseño de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria citrícola dedicada al cultivo, industrialización y exportación de limones, que desea instalarse en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán. Los productos elaborados y comercializados incluyen: fruta fresca, jugo concentrado (turbio y clarificado), pulpa, aceite esencial y cáscara deshidratada.

Como resultado del proceso productivo, por un lado, se generan residuos sólidos, que derivan de la etapa de recepción y selección de las frutas e incluye el descarte de los limones en mal estado, restos de cosecha y residuos procedentes de la etapa de extracción del aceite esencial. Por otro lado, se generan efluentes líquidos que provienen principalmente del lavado de las frutas, de la extracción del aceite esencial, del secado y enfriamiento de la cáscara, así como también, de la limpieza de la maquinaria y de las instalaciones de la planta.

En este proyecto, se realiza un estudio detallado de la composición y características de los efluentes generados por la industria, así como también, de los requisitos legales y normativos que deben ser cumplidos en materia ambiental. A partir de estos datos, se seleccionan las tecnologías más adecuadas para el tratamiento de los efluentes para reducir el impacto ambiental de la actividad productiva, y al mismo tiempo, promover el desarrollo sostenible de la región.

---

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivos generales

El objetivo general del proyecto es diseñar una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria citrícola, con el fin de disminuir los valores de contaminación del efluente por debajo de los niveles máximos establecidos por la normativa, y de esta manera, descargarlo en el Río Salí.

### 2.2. Objetivos específicos

- ❖ Proponer diferentes alternativas para el tratamiento de un efluente citrícola y evaluarlas según criterios técnicos, para elegir la alternativa de tratamiento más adecuada.
- ❖ Cumplir con los límites admisibles para la descarga a cuerpo de agua superficial de acuerdo con el Anexo I, inciso A) de la Resolución N°030/2009 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (SEMA) de la provincia de Tucumán (SEMA Tucumán, 2009).
- ❖ Realizar el cómputo y presupuesto del proyecto para definir el costo de inversión inicial, de operación y de mantenimiento, y el costo por metro cúbico de efluente de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- ❖ Realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) del proyecto.

### 3. Diagnóstico de la situación actual

En la actualidad, los efluentes líquidos de origen cítrico se disponen de las siguientes maneras: I) Se vierten sin tratamiento en los cuerpos de agua receptores, ocasionando su contaminación y destruyendo la vida acuática; II) Se descargan sin tratamiento sobre el suelo, provocando su degradación y la consecuente contaminación del agua subterránea y superficial; III) Se descargan en la red de saneamiento, teniendo como consecuencia la contaminación del agua, el taponamiento de la red por la acumulación de material sólido y daño a los dispositivos de la planta potabilizadora; IV) Se tratan en lagunas de estabilización, las cuales requieren grandes superficies de terreno, un elevado consumo de energía y su instalación debe encontrarse alejada de las zonas residenciales. A su vez, suelen tratarse en plantas de depuración intensiva, principalmente de lodos activados, cuyo resultado es una baja eficiencia en el tratamiento.

El vertido de los efluentes líquidos de la industria cítrica sin tratamiento puede provocar una importante contaminación en los cuerpos de agua receptores. Esto se debe a que el material orgánico es el principal componente contaminante, generando como consecuencias, la disminución del oxígeno disuelto, la muerte y/o migración de la fauna acuática, la producción y emisión de biogás y la formación de una capa de material flotante sobre el agua. Además, si los efluentes líquidos presentan una alta concentración de sólidos, se puede formar una capa de sedimento en el fondo del cuerpo de agua receptor, produciendo degradación anaeróbica. A su vez, se puede estar incorporando agroquímicos en el agua, provenientes del cultivo de los cítricos y restos de aceite esencial.

Otra consecuencia que pueden presentar los cuerpos de agua receptores debido a la descarga de efluentes cítricos altamente ácidos, son los cambios de pH, los cuales pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos y reducir la calidad del agua. En cambio, cuando los efluentes cítricos se aplican en el suelo, la acidez puede cambiar el pH del mismo y afectar su capacidad para retener nutrientes y agua, reduciendo la productividad agrícola y la calidad del suelo. También puede ocurrir el fenómeno de eutrofización<sup>1</sup>, ya que el efluente cítrico presenta una elevada concentración de nitrógeno y fósforo.

La disposición final inadecuada de los residuos sólidos provenientes del proceso productivo de la industria cítrica, causa la contaminación del aire, del agua subterránea y superficial, y del suelo. Esto se debe principalmente a la putrefacción del material orgánico,

---

<sup>1</sup> La eutrofización se define como el enriquecimiento de nutrientes en los sistemas acuáticos, que promueve el crecimiento del fitoplancton, generando pérdida de la calidad del agua y condiciones anóxicas.

---

la cual genera malos olores y lixiviación de contaminantes hacia el suelo y las aguas subterráneas y superficiales. La disposición de este tipo de residuos en los rellenos sanitarios puede causar problemas de operación debido al alto contenido de humedad de los mismos.

Por último, otro factor que causa contaminación atmosférica, se debe a la generación de vapor requerido en el proceso productivo, mediante las calderas alimentadas con combustible que producen la emisión de material particulado y otros contaminantes atmosféricos.

## 4. Estudios preliminares

### 4.1. La industria cítrica

La actividad cítrica es una de las actividades más importantes dentro del sector frutícola en Argentina y se encuentra constituida por dos modelos productivos que se desarrollan en distintas regiones del país. Por un lado, el subcomplejo limonero se concentra en el noroeste argentino, especialmente en las provincias de Jujuy, Salta y Tucumán, que producen el 92,1% de los limones. Por otro lado, el subcomplejo de los cítricos dulces se encuentra en el noreste y centro-este del país, en las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Misiones y Formosa, las cuales concentran el 81,5% de la producción de naranjas, pomelos y mandarinas (INDEC, 2021).

Los cítricos representan el 61,4% de la superficie cultivada de frutas, abarcando alrededor de 120.000 hectáreas. El limón es la fruta más cultivada, ocupando el 48,6% de la superficie implantada, mientras que, los cítricos dulces (naranjas, mandarinas y pomelos) representan el 51,3% (INDEC, 2021). También hay una pequeña superficie dedicada a otros cítricos como limas y quinotos. En el año 2018, la producción de limones fue de 2 millones de toneladas y la producción de frutas cítricas dulces fue de alrededor de 1.5 millones de toneladas (CCE, 2021).

El subcomplejo limonero se enfoca principalmente en la exportación, permitiendo que Argentina sea uno de los principales exportadores de limones frescos del mundo, así como también, el mayor exportador de aceite esencial y jugo concentrado de limón. Además, también se exporta la cáscara deshidratada de limón y otros productos de alto valor agregado. En cambio, en el subcomplejo de cítricos dulces, cerca de la mitad de la producción se consume en el mercado interno en fresco, aunque también hay una proporción destinada a la exportación, incluyendo jugos y aceites.

A continuación, se describen las tres etapas que presenta la producción cítrica en su cadena de valor:

- ❖ **Producción primaria:** comprende la producción de material reproductivo y plantines, el cultivo y la cosecha de los cítricos. Los viveros emplean semillas de origen certificado y producen los plantines en invernaderos que se encuentran bajo cubierta plástica, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 930/2009 de SENASA. Los medianos y grandes productores, que cuentan con alrededor de 50 a 300 Ha y con más de 300 Ha, respectivamente, concentran alrededor del 90% de la

producción (IDEP, 2020). En Argentina, existen 5.300 productores primarios dedicados a la producción de frutas cítricas (FEDERCITRUS, 2018).

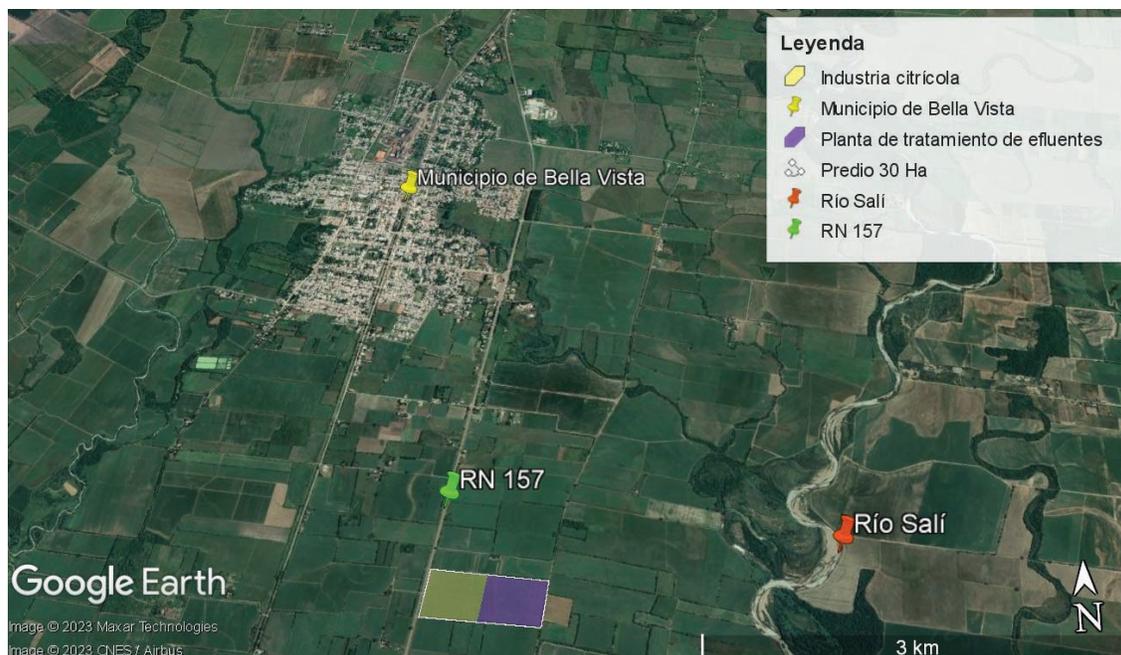
- ❖ **Empaque y conservación para consumo en fresco:** la fruta que presenta ciertos estándares de calidad, se empaqueta para su consumo en fresco en el mercado interno o para exportación. En Argentina, existen 330 plantas de empaquetamiento de frutas, en donde 75 de ellas, se dedican a la exportación (FEDERCITRUS, 2018).
- ❖ **Industrialización de la fruta de menor calidad:** la fruta que no presenta los estándares de calidad requeridos para su consumo en fresco, se destina a la producción de jugo, cáscara deshidratada y aceite esencial, entre otros subproductos. En Argentina, existen 22 plantas industriales procesadoras de frutas cítricas (FEDERCITRUS, 2018).

La producción citrícola es de naturaleza estacional, presentando su máxima intensidad en el periodo que abarca desde fines del mes de marzo hasta mediados del mes de septiembre, englobando la época otoñal e invernal del hemisferio sur. La duración de este periodo, llamado "zafra" depende de las condiciones climáticas, principalmente de las lluvias. En cambio, durante el periodo denominado "interzafra", se suele procesar fruta en menor cantidad y también se aprovecha esta etapa para procesar jugos almacenados en cámaras frigoríficas y para realizar el mantenimiento de los equipos industriales.

#### 4.2. Localización del área de implantación del proyecto

El proyecto se localiza en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán, Argentina. El mismo se emplaza en un predio que se encuentra ubicado sobre la RN 157, a 4,5 km del centro de dicho municipio y a 32 km de San Miguel de Tucumán, la capital provincial.

En la figura 1, se observa la localización del proyecto, identificando las áreas destinadas a las instalaciones de la industria (en color amarillo) y a la planta de tratamiento de efluentes (en color violeta), las cuales se estima que ocupen una superficie de 15 Ha cada una. A su vez, se indica la ubicación del municipio de Bella Vista, la RN 157 y el Río Salí.



**Figura 1.** Mapa de la zona de emplazamiento del proyecto. En color amarillo se indica la ubicación de la industria cítrica y en color violeta, la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

*Fuente: elaboración propia con el programa Google Earth.*

### 4.3. Diagnóstico ambiental del área afectada por el proyecto

#### 4.3.1. Municipio de Bella Vista

El municipio de Bella Vista forma parte del departamento de Leales, y se sitúa en el noroeste de la provincia de Tucumán en Argentina. Asimismo, se ubica a 28 km de San Miguel de Tucumán y se encuentra rodeado por el Río Colorado al oeste, el Río Lules y Río Salí al este, mientras que, el Arroyo del Rey atraviesa su territorio. Tiene una superficie de 102 km<sup>2</sup>, y según el censo del año 2010, el mismo cuenta con 17.158 habitantes (Secretaría de Estado de Gestión Pública y Planeamiento, 2015). La economía de Bella Vista se basa principalmente en la agricultura y la ganadería, siendo los cultivos de caña de azúcar y soja los más importantes.

#### 4.3.2. Cuenca del Río Salí-Dulce

La cuenca del Río Salí-Dulce (figura 2) abarca una superficie de alrededor de 57.000 km<sup>2</sup>, en donde viven más de 2 millones de personas, y se extiende por cinco provincias argentinas: Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero y Córdoba (Díaz Achával, 2017).

El Río Salí, cuyo caudal medio anual es de 14,7 m<sup>3</sup>/s (Argentina.gob.ar, s/f), es el principal colector de la cuenca Salí-Dulce, el cual recolecta el agua de unos 20 ríos menores y numerosos arroyos que se alimentan de los deshielos y las lluvias de verano. En la cuenca media se encuentra el Embalse de Río Hondo, un lago artificial compartido por Tucumán y Santiago del Estero, con una superficie de alrededor de 20 km<sup>2</sup>, en donde el 70% del caudal de agua que llega al embalse proviene del Río Salí y del Río Medina o Chico (Díaz Achával, 2017). A partir de allí, el río cambia de nombre a Río Dulce, cuyo caudal medio anual es de 82,2 m<sup>3</sup>/s (Argentina.gob.ar, s/f), el cual fluye a través de la provincia de Santiago del Estero hasta desembocar en la Laguna de Mar Chiquita, un humedal de importancia internacional ubicado en la provincia de Córdoba.

En la cuenca alta, que se encuentra en la provincia de Tucumán, existe una importante actividad industrial, especialmente de los ingenios azucareros, destilerías de alcohol, empresas procesadoras de cítricos y frigoríficos. Estos sectores representan el 65% de las empresas de la zona y afecta la calidad de las aguas del Río Salí, al verter sus efluentes sin el tratamiento correspondiente. En cambio, las cuencas media y baja presentan un menor desarrollo económico, en donde predomina la actividad agrícola y ganadera. Debido a la escasez de agua, estas actividades dependen en gran medida del riego artificial utilizando tanto las aguas de los ríos como del Embalse de Río Hondo.

En el año 2007, se firmó un Acuerdo para crear el Comité Interjurisdiccional de la Cuenca del Río Salí Dulce con el fin de abordar la contaminación del río Salí, sus tributarios y el Embalse de Río Hondo. Dicho comité se estableció como un medio para que las autoridades nacionales y provinciales trabajen en colaboración y coordinación para prevenir la contaminación industrial en la Cuenca Salí Dulce. Desde entonces, las medidas y políticas adoptadas en la prevención de la contaminación de origen industrial en la Cuenca Salí Dulce se han considerado de interés público y prioritario.

Luego, en el año 2011, se firmó un Acuerdo entre la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, las provincias de Tucumán y Santiago del Estero, y la Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero, para trabajar juntos en la reducción de la contaminación en la cuenca del Río Salí-Dulce. Este acuerdo se basó en el Acuerdo previo para prevenir la contaminación de origen industrial en el Embalse de Río Hondo de noviembre de 2011, en el cual se establecieron las medidas necesarias para prevenir la contaminación de origen industrial en el embalse.



**Figura 2.** Territorio de la cuenca del Río Salí-Dulce en color rojo.

Fuente: Díaz Achával (2017).

#### 4.4. Descripción del proceso productivo del proyecto

El proyecto contempla la producción de fruta fresca, jugo concentrado (turbio y clarificado), pulpa, aceite esencial y cáscara deshidratada. A continuación, se describe el proceso productivo de la industrialización del limón.

#### 4.4.1. Recepción de la fruta

Los proveedores realizan la entrega de la fruta mediante camiones cargados a granel o en contenedores, ya sea de material plástico o de madera. La misma se descarga en el interior de una pileta con agua para evitar los golpes y atenuar las lesiones de la cáscara. Dichas piletas poseen un sistema cerrado para recircular el agua mediante bombas. En esta etapa, se separan los tejidos vegetales y restos de cosecha que acompañan a la fruta, ya sea hojas, ramas y tierra. Luego, la fruta es conducida hacia un sistema de cangilones que la eleva hacia silos de almacenamiento para su clasificación y procesamiento. La fruta que resulta de mejor calidad, se empaca para su consumo en fresco en el mercado interno o externo. En cambio, la fruta de calidad inferior, se destina a la industria.

#### 4.4.2. Selección manual

La fruta que ha sido recientemente descargada o que está guardada en silos, se dirige hacia la etapa de preparación para ser procesada. Las frutas lesionadas o en mal estado se descartan manualmente y se retiran de la línea de proceso para evitar comprometer la calidad de los productos finales. Así como también, se retiran los restos de cosecha que hubieran llegado hasta allí. Luego, la fruta se lava con agua y cepillos suaves.

#### 4.4.3. Clasificación por tamaño

Para clasificar la fruta en dos tamaños apropiados para las copas extractoras, se utiliza una calibradora o tamañadora mecánica que es capaz de clasificar las frutas esféricas irregulares. Este proceso de clasificación permite una mayor eficiencia de extracción y disminuye la producción de residuos. Una vez que la fruta ha sido clasificada, está lista para ser procesada en la etapa de extracción del aceite esencial.

#### 4.4.4. Extracción del aceite esencial

El aceite esencial se obtiene mediante la punción de los pequeños sacos o vesículas que posee la cáscara del limón. Se puede extraer entre 4 a 6,5 L de aceite esencial por tonelada de limón fresco (Machado López, 2015). El color de este producto varía entre amarillo y verde esmeralda oscuro, según la variedad del limón y su maduración.

El aceite esencial se extrae punzando la cáscara del limón bajo una corriente de agua, que funciona como vehículo para conducir el aceite y evitar su pérdida a la atmósfera. Para realizar la punción, se lleva a cabo una extracción por rolos. Este método consiste en

hacer girar en sentidos opuestos, dos rolos de acero inoxidable de separación graduable. De esta manera, la fruta pasa entre los rolos, los cuales ejercen la presión justa para punzar los sacos de aceite sin raspar la cáscara. El aceite extraído pasa a través de los canaliculos o estrías distribuidos en la superficie de los rolos. Así, se obtiene una emulsión primaria compuesta por aceite esencial, agua y una pequeña proporción de ralladura de limón, la cual se tamiza para eliminar los detritos, dando origen a una emulsión secundaria. Esta última, contiene sustancias pécticas<sup>2</sup> que pueden producir turbiedad en el producto final y aumentar la viscosidad, reduciendo el rendimiento de la operación de centrifugado posterior. Para disminuir el efecto de dichas sustancias, se suelen utilizar enzimas pectinolíticas que tienen la capacidad de degradar a las sustancias pécticas.

La emulsión secundaria se ingresa en centrifugas de tres fases que giran con velocidades entre 8.000 y 10.000 rpm, y de esta manera, permiten obtener una fase rica en aceite, una fase rica en agua y otra fase de consistencia lodosa con alto contenido de sólidos. La fase rica en agua que sale de las centrifugas, es recirculada hacia el proceso de extracción de aceite para recuperar la pequeña fracción oleosa que pudiera contener.

La fase extraída rica en aceite, es conducida hacia otro tipo de centrifugas, denominadas pulidoras, que giran con velocidades entre 16.000 y 18.000 rpm, para obtener el aceite "prensado en frío" o "cold-pressed" de elevada pureza. Este aceite se almacena en tanques de acero inoxidable o en tambores con atmósfera nitrogenada para evitar la ocurrencia de reacciones de oxidación que reducen su calidad comercial. Dichos tanques se mantienen a temperaturas de entre -5°C a -25°C durante varios días para lograr la separación de las ceras y su remoción, antes de comercializar el producto final. La remoción de las ceras (descerado) se puede realizar mediante decantación, centrifugación o por prensado del aceite.

#### 4.4.5. Obtención de jugo y pulpa

Para obtener el jugo de la fruta fresca, se utilizan equipos extractores por copas, los cuales extraen el jugo con un contenido de pulpa que varía entre 14 y 18% v/v. Este valor se ajusta según el requerimiento de los clientes, suelen incluir: jugos de pulpa alta (6 a 8% de pulpa), jugos de pulpa intermedia (2 a 6% de pulpa), jugos de pulpa baja (0,5 a 2% de pulpa), jugos de baja sedimentación (menos de 0,5% de pulpa) y jugos clarificados (cero contenido de pulpa). Para preparar los jugos de pulpa alta e intermedia, se utilizan

---

<sup>2</sup> Las sustancias pécticas comprenden un conjunto de polisacáridos que integran la pared celular de las plantas y se encuentran en frutas y verduras, como las manzanas, los cítricos, las zanahorias y los tomates. Estas sustancias le proporcionan resistencia y rigidez a las células vegetales.

centrífugas separadoras de pulpa, la cual se recolecta en la parte periférica del equipo y se descarga a través de agujeros para lograr el requerimiento deseado. Para obtener jugos clarificados, se lleva a cabo un proceso de ultrafiltración que separa la totalidad de la pulpa presente en el jugo, incluso las partículas en estado coloidal.

La pulpa separada del jugo se pasteuriza para inactivar enzimas y evitar contaminación microbiológica. Luego, se conduce a una etapa de enfriamiento necesaria para conservar el producto que se envasa inmediatamente.

#### 4.4.6. Concentración del jugo

Una vez que se extrajo la pulpa del jugo, se lo somete a un proceso de evaporación del contenido acuoso hasta el nivel requerido por los clientes. El evaporador más utilizado es el TASTE (Temperature Accelerated Short Time Evaporator), el cual concentra y pasteuriza el jugo (de hasta 65°Bx<sup>3</sup> y 15°C de temperatura) mediante la evaporación al vacío. El equipo se compone de precalentadores, evaporadores, separadores y un enfriador final. Una vez concentrado el jugo, se lo envasa en bidones, tambores o bins (según requerimientos comerciales) y se lo conserva en cámaras frigoríficas a -18°C hasta su traslado en transportes refrigerados.

#### 4.4.7. Deshidratación de cáscara

El albedo del limón tiene un alto contenido de pectina, una sustancia muy útil en la industria alimentaria para la elaboración de alimentos como jaleas, mermeladas y helados debido a sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. Además, la pectina también se utiliza en la industria farmacéutica para aumentar el volumen de los principios activos en diferentes medicamentos.

Para poder comercializar la pectina como materia prima, se debe deshidratar la cáscara de la fruta que proviene de las extractoras de jugo. Un primer tratamiento consiste en reducir el tamaño de las cáscaras, mediante un molino a martillos o cuchillas. Esto se realiza con el objetivo de homogeneizar el tamaño de las partículas de las cáscaras para que el lavado y secado posterior, resulte más eficiente y el producto final sea homogéneo.

---

<sup>3</sup> La escala de grados Brix (°Bx) se utiliza en el sector de alimentos para medir la cantidad aproximada de azúcar en zumos de fruta, vino o bebidas suaves y en la industria del azúcar. Por ejemplo, una solución de 25°Bx contiene 25 g de azúcar (sacarosa) y 75 g de agua en los 100 g de solución (Equipos y Laboratorio, s/f).

Luego, la cáscara es conducida por un sistema de lavado, por lo general, de tres etapas. La misma es impulsada por agitadores helicoidales horizontales con agua en contracorriente. El objetivo del lavado es remover la mayor cantidad de azúcar presente para evitar que el producto final se oscurezca en la etapa de secado, y de esta manera, que la calidad del producto final se mantenga. Asimismo, el lavado permite eliminar los ácidos orgánicos de la cáscara, los cuales pueden interactuar con la pectina durante el secado.

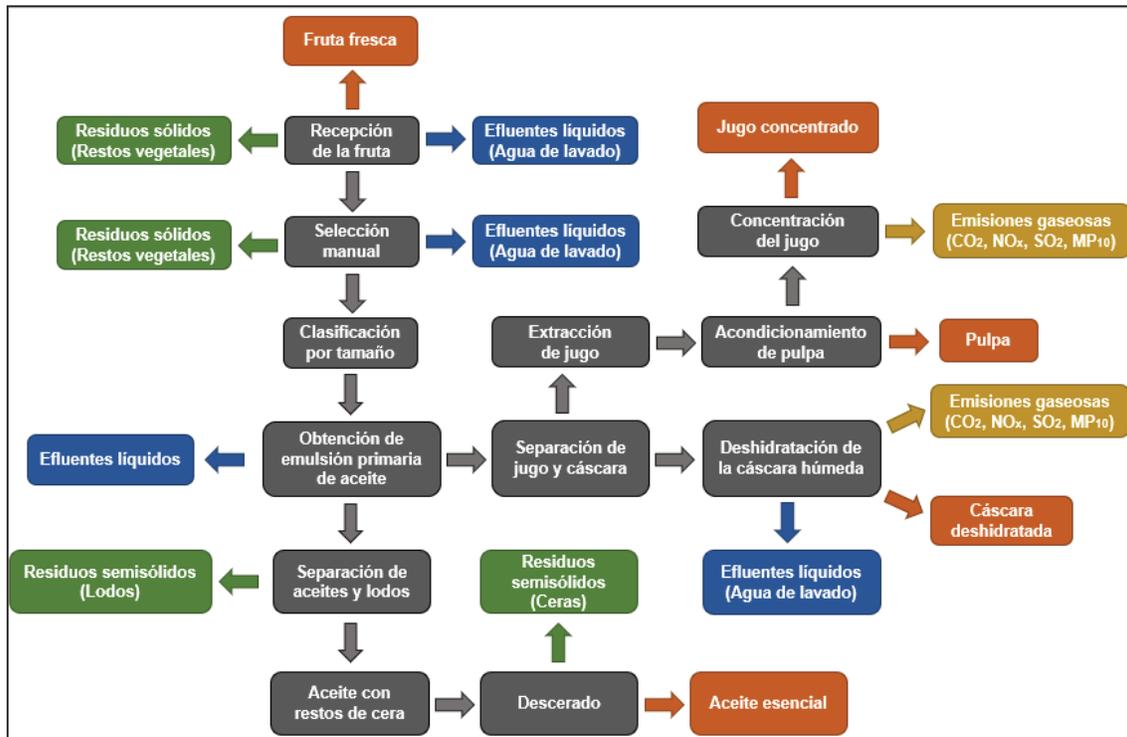
Una vez finalizadas las etapas de lavado, la cáscara se escurre y se prensa, obteniendo una humedad de alrededor del 85% (Machado López, 2015). Por último, la cáscara se seca mediante hornos rotativos con circulación de aire caliente, en donde el producto final obtenido presenta un 10% de humedad. A la salida del horno rotativo, la cáscara se prensa y se envasa en bolsas de 30 o 50 kg, según requerimientos comerciales.

#### 4.4.8. Lavado y sanitización de la planta industrial

Se realiza una operación de limpieza total cada 24 o 36 horas, la cual suele durar entre 1 y 1,3 horas, y en algunos casos, hasta 2,5 horas. Para limpiar se utiliza una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 2%, y en ciertos equipos, como los evaporadores, se emplea una solución diluida de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). Por último, se aplica una solución diluida de hipoclorito de sodio (NaClO).

#### 4.4.9. Diagrama de flujo

En la figura 3, se observa el diagrama de flujo del proceso de industrialización del limón de la empresa a instalarse. En color gris, se destacan las etapas principales del proceso (los cuales fueron explicados previamente), en color naranja se muestran los productos finales obtenidos, en color verde los residuos sólidos y semisólidos generados, y por último, en color azul, los efluentes líquidos producidos.



**Figura 3.** Diagrama de flujo del proceso de industrialización del limón.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. Generación de residuos sólidos, semisólidos, efluentes líquidos y emisiones gaseosas

En esta sección, se describen los parámetros fisicoquímicos del efluente industrial de origen cítrico y se indica el caudal diario estimado del mismo y del efluente cloacal. Asimismo, se especifican los residuos sólidos y semisólidos generados y su disposición final, y por último, se precisa el origen de las emisiones gaseosas liberadas a la atmósfera.

##### 4.5.1. Efluentes líquidos

###### 4.5.1.1. Efluente industrial

El efluente industrial proviene principalmente del lavado de las frutas, de la obtención de la emulsión primaria de aceite, de la etapa de deshidratación de la cáscara, así como también, de la limpieza de la planta. Teniendo en cuenta que, la industria cuenta con una capacidad para procesar 50 mil toneladas de limones por año, a razón de un consumo de agua de 4 m<sup>3</sup>/tn fruta procesada (Machado López, 2015), el caudal promedio de generación de efluentes líquidos resulta de 548,00 m<sup>3</sup>/día.

En la tabla 1, se presentan los valores de los parámetros fisicoquímicos del efluente citrícola (según búsqueda bibliográfica). A su vez, se listan los límites admisibles de los mismos para la descarga a cuerpo de agua superficial, de acuerdo con el Anexo I, inciso A) de la Resolución N°030/2009 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (SEMA) de la provincia de Tucumán (SEMA Tucumán, 2009).

**Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del efluente citrícola.**

Parámetro	Unidad	Valor	Referencia bibliográfica	Límite admisible para descarga a cuerpo de agua superficial
DQO	mg/L	10.700,00	Andiloro et al (2013) Bonissone et al (2018) Corsino et al (2018) Machado Lopez (2015) Parish et al (1986) Zema et al (2012) Zema et al (2018)	≤ 250,00
DBO	mg/L	5.900,00	Bonissone et al (2018) Machado Lopez (2015)	≤ 50,00
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	140,00	Bonissone et al (2018) Corsino et al (2018) Koppar et al (2013) Machado Lopez (2015) Parish et al (1986)	≤ 10,00
Fósforo total	mg/L	31,00	Bonissone et al (2018) Corsino et al (2018) Machado Lopez (2015)	≤ 1,00
Conductividad	μS/cm	1.027,50	Hidalgo (2015)	≤ 1.000,00
pH	-	4,60	Andiloro et al (2013) Bonissone et al (2018) Corsino et al (2018) Koppar et al (2013) Machado Lopez (2015) Parish et al (1986) Zema et al (2012) Zema et al (2018)	≥ 5,50 y ≤ 9,00 <sup>(2)</sup>
Temperatura	°C	33,80	Chitunhu et al (2014) Hidalgo (2015)	≤ 45,00
Aceites y grasas <sup>(1)</sup> (S.S.E.E.)	mg/L	1.100,00	Andiloro et al (2013) Parish et al (1986) Zema et al (2012) Zema et al (2018)	≤ 100,00

Oxígeno disuelto	mg/L	1,50	Chitunhu et al (2014) Machado Lopez (2015)	≥ 3,00
Turbidez	F.T.U.	776,50	Hidalgo (2015)	25,00 y 250,00 <sup>(2)</sup>
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	12.500,00	Machado Lopez (2015)	Sin datos
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	mg/L	11.000,00	Machado Lopez (2015)	Sin datos
Sólidos Fijos (SF)	mg/L	1.200,00	Machado Lopez (2015)	Sin datos
Sólidos sedimentables (2 hs)	ml/L	180,00	Machado Lopez (2015)	≤ 1,00
Coliformes fecales	NMP	-	-	≤ 100/100,00 mL <sup>(2)</sup>

(1) Se considera la presencia de restos de aceite esencial de limón en el efluente.

(2) Se debe cumplir cuando las aguas del cuerpo receptor sean destinadas para abastecimiento doméstico, urbano y potable industrial con sistema de potabilización.

#### 4.5.1.2. Efluente cloacal

La empresa contará con 215 empleados, los cuales estarán dedicados al sector de producción, administración y limpieza. Considerando una dotación de agua por empleado por día de 180,00 L/hab.día, se obtiene como resultado, que el caudal del efluente cloacal generado será de 38,70 m<sup>3</sup>/día (ver sección 7.1). El mismo será ingresado en el tratamiento secundario del efluente industrial, con el fin de incorporar microorganismos que favorezcan la eliminación de la materia orgánica biodegradable.

#### 4.5.2. Residuos sólidos y semisólidos

Como resultado del proceso productivo de la industrialización del limón, se generan residuos sólidos y semisólidos.

En las etapas de recepción de la fruta y selección manual, los limones en mal estado y los restos de cosecha son derivados a una compostera industrial ubicada dentro del predio de la empresa para generar compost, el cual posteriormente es ofrecido a los proveedores de la fruta. Se aclara que, el diseño de esta unidad de tratamiento de los residuos sólidos y semisólidos, no se considera en el presente proyecto.

En la etapa de extracción de aceite esencial, luego de la centrifugación de la emulsión secundaria, se obtiene una fase con alto contenido de sólidos. De acuerdo con Machado López (2015), el volumen de esta fase suele oscilar entre 10 y 17 litros por cada tonelada de fruta procesada. Para extraer la fase oleosa, es necesario destilar esta fase con alto contenido de sólidos. Finalmente, el residuo de dicha destilación, se puede compostar. En el último proceso de esta etapa, en el descerado, se genera entre 1 y 2 kg de cera por cada 100 kg de aceite (Machado López, 2015). Este residuo se utiliza como materia prima para la obtención de aceites destilados (stripper oil), el cual puede ser comercializado a los fabricantes de dicho producto.

Asimismo, tanto en el proceso productivo como en las oficinas, en la cocina y en el comedor, se generan residuos reciclables (plástico, papel, cartón, madera) y residuos comunes provenientes de la limpieza de dichos sectores, los cuales se envían a reciclaje y a disposición final en relleno sanitario, respectivamente. Los restos de alimentos que resultan de las actividades de la cocina de la fábrica, son derivados a compostaje.

En cuanto a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs) generados por el recambio de los equipos informáticos de las oficinas, son enviados a una fundación que se encarga de su reacondicionamiento y donación a escuelas y otras instituciones.

Por último, debido a las actividades de logística y mantenimiento de la maquinaria se generan residuos peligrosos, los cuales son retirados y tratados con transportistas y operadores habilitados, respectivamente. Según la Ley Nacional N° 24.051 (Argentina.gob.ar, s/f), las corrientes de residuos que se desechan en el establecimiento son las siguientes: Y1, Y4, Y6, Y8, Y9, Y12, Y31/Y34, Y4/Y48, Y6/Y48, Y8/Y48 e Y12/Y48.

#### 4.5.3. Emisiones gaseosas

Las emisiones gaseosas a la atmósfera son generadas por las calderas de producción de vapor, las cuales se utilizan en la etapa de concentración del jugo y por los hornos rotativos empleados en la etapa de deshidratación de la cáscara. Dichos equipos pueden funcionar con gas natural o diésel.

#### 4.6. Marco legal

En la Tabla I del Anexo I, se lista la legislación a nivel supranacional, nacional y provincial que es de aplicación al proyecto en materia ambiental y de higiene y seguridad en el trabajo. Asimismo, se aclara que en la actualidad, el municipio de Bella Vista

(departamento de Leales) de la provincia de Tucumán, no posee normativa aplicable a la instalación y funcionamiento de la industria descripta.

## 5. Análisis de las alternativas de tratamiento

En esta sección, se proponen dos alternativas para el tratamiento secundario del efluente citrícola descrito. El análisis de dichas alternativas se realizará en función de los factores ambientales, económicos y tecnológicos más relevantes que pueden afectar la toma de decisiones.

Ambas alternativas de tratamiento propuestas comienzan con un pretratamiento del efluente citrícola, que incluye: un sistema de rejillas medias de limpieza manual para remover los sólidos que puedan obstruir el flujo de agua de las instalaciones; un sistema de tamices rotativos de malla fina para remover sólidos finos y evitar el atascamiento de los equipos de bombeo; y un tanque de compensación, con el objetivo de obtener un caudal uniforme en la unidad de tratamiento primario y de mantener constantes las condiciones fisicoquímicas del efluente a tratar. En el caso del pretratamiento del efluente cloacal en ambas alternativas, se coloca un sistema de rejillas finas para remover el material sólido.

Luego, en el tratamiento primario de las dos alternativas, se incorporan las unidades de coagulación-floculación. En la primera unidad, se desestabilizan las partículas coloidales, a partir de la neutralización de sus cargas eléctricas, anulando las fuerzas repulsivas o actuando sobre la hidrofilia de las mismas. Mientras que, en la segunda unidad, las partículas descargadas se agrupan en condiciones de mezcla lenta. Seguidamente, el tratamiento primario continúa con un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) para remover los flóculos formados en la unidad anterior. En el caso de la alternativa A, previo al tratamiento secundario, se coloca un tanque de compensación en donde confluyen el efluente industrial y el cloacal.

Para el tratamiento secundario, se proponen las siguientes alternativas de tratamiento:

- A.** Tratamiento biológico utilizando un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y un sistema de lodos activados.
- B.** Tratamiento biológico utilizando un tren de lagunas de estabilización.

En el tratamiento terciario de las alternativas planteadas, se realiza una desinfección con cloro con el objetivo de reducir el contenido bacteriano y los organismos patógenos.

Por último, se realiza el tratamiento de los lodos generados durante el tratamiento primario de ambas alternativas y del tratamiento secundario de la alternativa A.

## 5.1. Descripción de las alternativas de tratamiento

En esta sección, se describen con más detalle cada una de las etapas de tratamiento propuestas previamente mencionadas para tratar el efluente citrícola.

### 5.1.1. Pretratamiento

La etapa de pretratamiento tiene como objetivo preparar al efluente para que pueda ser tratado en etapas posteriores. Por lo tanto, mediante diferentes sistemas, se eliminan los sólidos gruesos y arenas que podrían dificultar el tratamiento del efluente y la eficiencia del funcionamiento de los equipos e instalaciones, ya sea por obstrucciones, acumulación de sólidos, o por incrementar el consumo de oxígeno posteriormente en el tratamiento biológico. Además, esta etapa comprende la nivelación de ciertos parámetros del efluente (temperatura, pH, carga orgánica, caudal) a través de un tanque de compensación, con el fin de equilibrar las características del mismo que continúa hacia el tratamiento primario.

Es importante mencionar que el efluente cloacal no ingresa al tratamiento primario, ya que de esta manera, se preservan los microorganismos presentes en el mismo para su posterior uso en el tratamiento biológico. Por lo tanto, el pretratamiento de cada tipo de efluente se realiza por separado.

Los residuos separados que provienen del efluente industrial se depositan en tolvas para luego ser destinados a compostaje. Mientras que, los residuos separados provenientes del efluente cloacal se depositan en tolvas para su correspondiente tratamiento con una empresa tercerizada.

#### 5.1.1.1. Sistema de rejillas

El sistema de rejillas se utiliza para eliminar los sólidos gruesos presentes en el efluente, y de esta manera, evitar la obstrucción de las cañerías y el mal funcionamiento de los equipos electromecánicos. Las rejillas se componen de una serie de barras o rejillas metálicas, que se colocan en un ángulo determinado para impedir que los sólidos pasen a través de ellas y solamente el agua pueda fluir por el sistema.

Para remover los restos de cosecha provenientes del efluente industrial, se opta por la instalación de un sistema de rejillas medias. En cambio, para el efluente cloacal, se opta por la instalación de un sistema de rejillas finas. En ambos casos, se tendrá un sistema de limpieza manual.

#### 5.1.1.2. Sistema de tamices

El tamiz se utiliza para la retención de los sólidos finos presentes en el efluente, con el fin de evitar la obstrucción de los equipos de bombeo. En este caso, para remover materiales de menor tamaño y restos de tierra que pudiera contener el efluente industrial, se opta por la instalación de un tamiz estático de malla fina.

#### 5.1.1.3. Tanque de compensación

El uso de un tanque de compensación en el tratamiento de aguas residuales es fundamental para garantizar un proceso efectivo y controlado. Entre sus principales funciones se destaca: minimizar o controlar las fluctuaciones en las características del efluente, proporcionando condiciones óptimas para el siguiente proceso; actuar como buffer para las fluctuaciones orgánicas, previniendo "shocks" de carga en el sistema biológico; proveer un control de la temperatura y del pH; proporcionar una alimentación continua al sistema biológico en periodos de baja producción o en paradas de planta; ayudar a prevenir el ingreso de cargas tóxicas al sistema de tratamiento, protegiendo la integridad del sistema biológico.

En el tanque de compensación, se colocan aireadores para aumentar la cantidad de oxígeno en el agua, y permitir que los microorganismos que se utilizan en el tratamiento, puedan realizar sus funciones correctamente. Al aumentar la cantidad de oxígeno en el agua, se estimula el crecimiento y la actividad de los microorganismos, lo que a su vez aumenta la eficacia del tratamiento del efluente. Además, los aireadores también pueden ayudar a mantener una mezcla adecuada en el tanque de compensación, evitando que se produzcan zonas muertas o áreas en donde el agua no recibe suficiente oxígeno.

En el pretratamiento de la alternativa A, se colocan dos tanques de compensación, en uno de ellos se recibe el efluente industrial, y en el otro, el efluente cloacal junto con el efluente industrial que proviene del tratamiento primario. De esta manera, se logra una mezcla adecuada con características fisicoquímicas uniformes. Luego, ambos efluentes continúan hacia el tratamiento secundario. En el caso del pretratamiento de la alternativa B, solo se coloca un tanque de compensación en donde se recibe el efluente industrial luego de atravesar el sistema de rejillas y tamices.

#### 5.1.2. Tratamiento primario

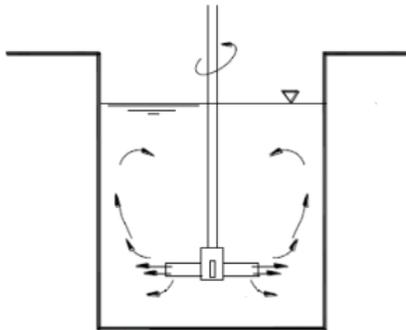
La etapa de tratamiento primario tiene como objetivo la remoción de los sólidos suspendidos (cuyo tamaño es mayor a 1  $\mu\text{m}$ ) a través de tratamientos físicos, así como

también, de las partículas coloidales (cuyo tamaño se encuentra entre  $10^{-3}$  a  $1 \mu\text{m}$ ) mediante tratamientos químicos.

En ambas alternativas de tratamiento, se opta por la instalación de unidades de coagulación-floculación, el cual es un tratamiento químico, seguido de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF), que se corresponde con un tratamiento físico.

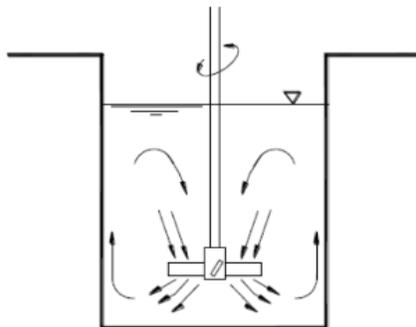
#### 5.1.2.1. Coagulación-Floculación

La coagulación se utiliza para eliminar los sólidos suspendidos y disueltos que pueden estar presentes en el efluente industrial. En esta unidad, se desestabilizan las partículas coloidales, a partir de la neutralización de sus cargas eléctricas, anulando las fuerzas repulsivas o actuando sobre la hidrofilia de las mismas. Esto se logra mediante el agregado de una sustancia química en el efluente (coagulante), como sulfato de aluminio o cloruro férrico, en condiciones de mezcla rápida y un tiempo de contacto breve (entre 20 a 60 segundos). En este caso, se utilizan turbinas de flujo radial (ver figura 4), en donde el líquido se mueve de forma perpendicular al eje del agitador, ya que son las más indicadas para realizar una mezcla rápida del líquido.



**Figura 4.** Turbina de flujo radial.

La floculación comprende la aglomeración de las partículas desestabilizadas en la etapa de coagulación, para formar flóculos de mayor tamaño que puedan decantar en forma de lodo y luego filtrarse. Este proceso ocurre en condiciones de mezcla lenta y con un mayor tiempo de contacto (entre 20 a 30 minutos), mediante el agregado de una sustancia química denominada floculante. En este caso, se utilizan turbinas de flujo axial (ver figura 5), en donde el líquido se mueve de forma paralela al eje del agitador, ya que son las más indicadas para realizar una mezcla lenta del líquido.



**Figura 5.** Turbina de flujo axial.

Mediante la etapa de coagulación-floculación, se evitan los efectos tóxicos que se pudieran producir en la biomasa del reactor biológico, así como también, la acumulación de metales pesados en el lodo biológico, y la toxicidad acuática en el efluente. Asimismo, se logra reducir el valor de los parámetros de DBO y DQO para alcanzar los niveles permitidos para la descarga a cuerpo de agua superficial. Según los ensayos de Jar-Test y de sedimentabilidad con cono Imhoff realizados por Hidalgo (2015), con un efluente proveniente de una industria citrícola con 10.000 mg/L de DQO, utilizando cloruro férrico y con pH 6, se obtiene una eficiencia de remoción del 13% en la DQO, en tanto, la turbidez disminuye un 98% y los SST un 96%.

#### 5.1.2.2. Flotación por aire disuelto (DAF)

Esta unidad de tratamiento se utiliza para separar los sólidos en suspensión y algunas sustancias coloidales y emulsionadas de una fase líquida. El proceso se lleva a cabo en condiciones de reposo y mediante un sistema de aireación con difusores de burbuja fina. Según Ross et al (2003), en un efluente cítrico analizado, el sistema DAF permite una remoción del 99,8% de los SST.

Una pequeña parte del agua tratada en la unidad de flotación, se recircula y se satura con aire bajo presión en una cámara de presurización. Luego, el agua saturada con aire se inyecta a través de una válvula reductora de presión, en una tubería en donde ingresa el líquido con los flóculos a la unidad de flotación. De esta manera, se libera el aire del líquido mediante burbujas muy finas, que se adhieren a la materia en suspensión (flóculos), reduciendo su densidad, y por lo tanto, elevándose hacia la superficie del tanque de flotación. El lodo acumulado en la superficie puede ser removido ya sea por rebose o por barredores mecánicos, mientras que, el líquido clarificado se separa por el fondo del tanque y se recircula una parte del mismo.

### 5.1.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario o biológico tiene como objetivo remover la materia orgánica disuelta y los sólidos suspendidos que quedan en el agua residual luego del tratamiento primario. A su vez, se busca disminuir la cantidad de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, que pueden causar problemas ambientales como la eutrofización de cuerpos de agua y la proliferación de algas, y remover contaminantes específicos con el fin de reducir la toxicidad del agua residual. Este proceso se realiza mediante el uso de diversos tipos de microorganismos que oxidan la materia orgánica convirtiéndola en productos más simples, al mismo tiempo que se genera mayor cantidad de biomasa.

A continuación, se describen las alternativas de tratamiento biológico propuestas anteriormente.

#### 5.1.3.1. Alternativa A

La alternativa A consta de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) y un sistema de lodos activados.

Los reactores UASB, que reciben su nombre por las siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket, fueron ideados y creados en Holanda en el año 1970 por el Dr. Gatze Lettinga y su equipo. Esta tecnología es ampliamente utilizada en el tratamiento de efluentes de la industria alimenticia, química y petroquímica, textil, farmacéutica y en aguas residuales municipales.

El proceso de tratamiento en un reactor UASB comienza cuando el agua residual entra por la parte inferior del mismo y se distribuye de manera uniforme por toda la superficie de la base mediante un distribuidor de flujo. En este punto, el agua residual entra en contacto con el manto de lodos presente en el reactor, y allí ocurre la degradación anaerobia.

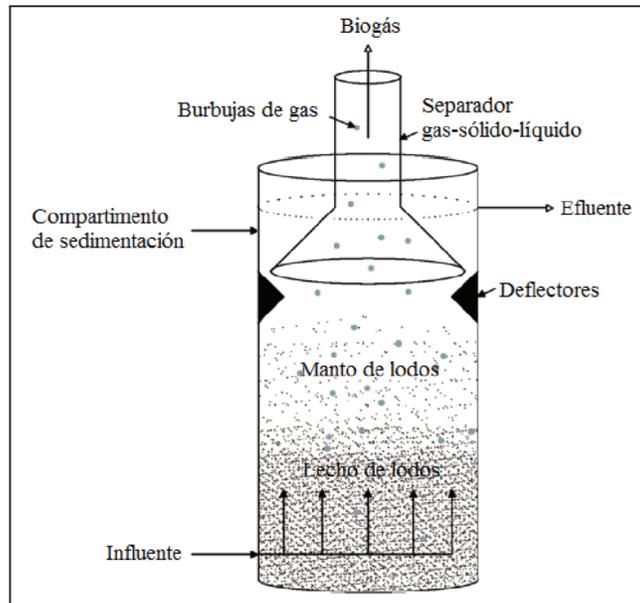
En la parte superior del reactor, se encuentra un separador trifásico (sólido-líquido-gas), el cual cumple tres funciones: retener las fracciones de sólidos del lodo que hayan llegado allí debido a la corriente ascendente mediante un sedimentador; permitir la salida del efluente por medio de colectores; y recolectar el biogás generado en el tratamiento a través de una campana. A su vez, en el interior del reactor se encuentran unos deflectores o baffles, que cumplen la función de direccionar las burbujas de biogás hacia el interior del separador. En la figura 6, se puede observar un esquema del reactor UASB con todos sus componentes.

El éxito del proceso UASB se debe al desarrollo de un lodo granuloso denso que permite la aplicación de altas concentraciones de carga orgánica. Esto se logra con la formación de un manto de lodos compacto en el que se distribuyen las concentraciones de sólidos, siendo más elevadas en la parte inferior del reactor, con valores de 50 a 100 g/L, y disminuyendo gradualmente hacia la parte superior del manto, en donde se encuentran concentraciones entre 5 y 40 g/L (Sosa Villalobos, 2013).

Los microorganismos que se utilizan en un reactor UASB establecen relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica y tienen la capacidad natural de agruparse en forma de gránulos de entre 1 a 3 mm de diámetro. Dichos gránulos están formados por bacterias hidrolíticas, acidógenas/acetógenas y metanógenas, asimismo, cada capa del gránulo está asociada a una determinada fase de degradación.

Entre las ventajas con las que cuenta el reactor UASB se encuentran: alto grado de estabilización de la materia orgánica; baja producción de lodo; bajo consumo de energía; menor requerimiento de espacio; bajo costo de instalación y mantenimiento; posibilidad de mantenimiento de la biomasa sin alimentación del reactor; tolerancia a elevadas cargas orgánicas; producción de biogás. Mientras que, las desventajas de este tipo de reactor incluyen: baja remoción de nitrógeno, fósforo y patógenos; necesidad de un post tratamiento; posibilidad de generación de malos olores y corrosión; presenta variación con las condiciones ambientales (Aguas Claras, s/f).

Machado López (2019) realizó el tratamiento del efluente de una industria procesadora de limón con un reactor UASB, y la eficiencia de remoción promedio de DQO resultó del 75%. Resultados similares fueron alcanzados en el estudio realizado por Elnekave et al (2011) al utilizar modelos matemáticos para el tratamiento de un efluente cítrico en un reactor UASB de flujo ascendente, siendo los mismos entre 77% a 79%.



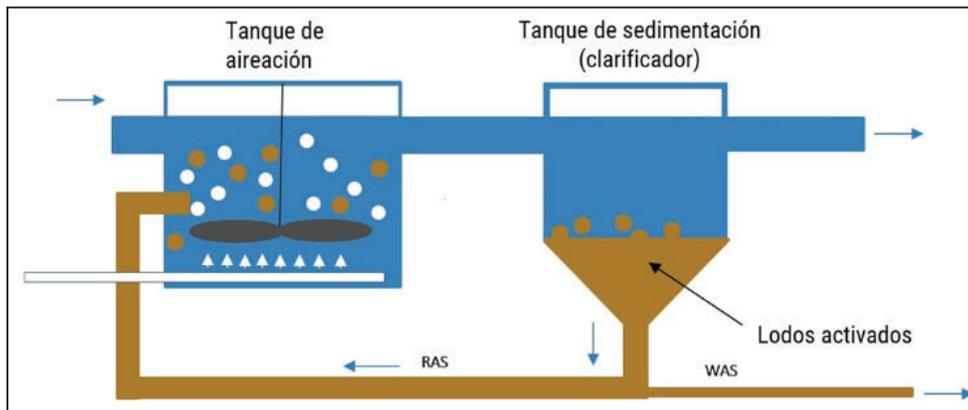
**Figura 6.** Esquema del reactor UASB. Fuente: Chong et al (2012).

El tratamiento secundario utilizando un reactor UASB se complementa con un sistema de lodos activados (figura 7) para lograr una mayor eficiencia del tratamiento. Dicho sistema es un proceso biológico que implica el uso de microorganismos aerobios para eliminar la materia orgánica soluble e insoluble del agua residual. El mismo consta de un tanque de aireación (reactor biológico), un equipo de aireación, un sedimentador, un sistema de cañerías y bomba para la recirculación del lodo y un sistema de cañerías para el desecho de los lodos en exceso.

En el reactor biológico, se produce el contacto de los microorganismos con el agua residual que contiene materia orgánica, en condiciones de aireación y agitación mecánica. De esta manera, se produce la oxidación de la materia orgánica y se convierte en dióxido de carbono y agua, al mismo tiempo que se genera mayor cantidad de biomasa. Luego, el efluente es dirigido hacia un sedimentador secundario, en el cual ocurre la sedimentación de la suspensión microbiana floculante (lodo activado). Una parte del lodo sedimentado se recircula al reactor biológico con el fin de mantener elevada la concentración de microorganismos, mientras que, la parte restante del lodo se considera un residuo y se envía al tratamiento correspondiente. Por último, el líquido clarificado es enviado a la etapa de desinfección.

Las ventajas de un sistema de lodos activados incluyen, una alta eficiencia de remoción de carga orgánica y la minimización de olores. En cambio, las desventajas comprenden: alta producción de lodos; altos costos operacionales debido a la aireación y requiere de un mantenimiento cuidadoso con personal calificado.

Según Hidalgo (2015), al realizar el tratamiento de un efluente cítrico con un reactor discontinuo secuencial (SBR), el cual es similar a un proceso de lodos activados en donde la aireación y la sedimentación ocurren en un mismo tanque, se obtiene una eficiencia de remoción del 99% para la DQO en un tiempo de reacción de 72 horas.



**Figura 7.** Esquema del sistema de lodos activados. El término RAS corresponde al lodo activado recirculado al reactor biológico, mientras que, el término WAS corresponde al lodo activado que es purgado del sistema. Fuente: Cropaia (s/f).

#### 5.1.3.2. Alternativa B

La alternativa B consta de un tren de lagunas de estabilización, en donde se incluye una laguna anaeróbica, seguida de dos lagunas facultativas.

Las lagunas anaerobias (figura 8) se colocan como primera fase en el tratamiento de efluentes con elevado contenido de materia orgánica biodegradable con el fin de reducir su contenido. Por este motivo, este tipo de lagunas operan en serie con las lagunas facultativas. Según Middlebrooks et al (1982), la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno ocurre a través de las siguientes etapas:

- ❖ **Hidrólisis:** las bacterias anaerobias convierten los compuestos orgánicos complejos e insolubles en compuestos más sencillos y solubles en agua.
- ❖ **Formación de ácidos:** las bacterias acidogénicas convierten los compuestos orgánicos sencillos de la etapa anterior en ácidos orgánicos volátiles (ácido acético, propiónico y butírico).
- ❖ **Formación de metano:** una vez formados los ácidos orgánicos, las bacterias metanogénicas los convierten en metano y dióxido de carbono.

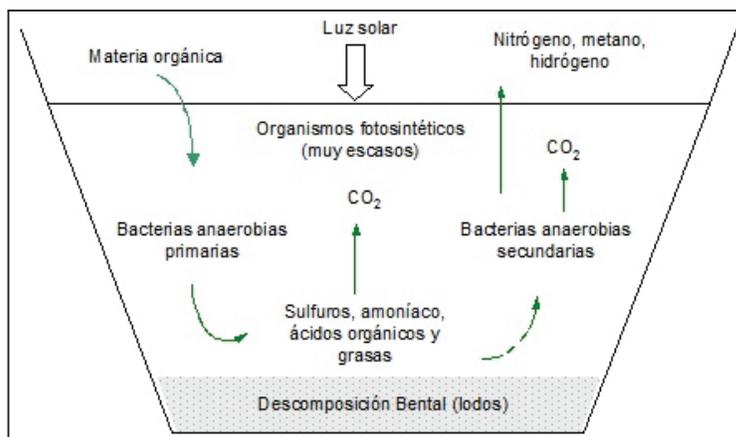
La liberación de los gases metano y dióxido de carbono, causa la formación de burbujas en el efluente, la cual es una señal de buen funcionamiento de la laguna

anaerobia. A su vez, dicho burbujeo resuspende los sedimentos del fondo de la laguna, y como consecuencia, emergen a la superficie, posteriormente se secan, y se forman costras.

Este tipo de lagunas deben cubrirse con un material específico para evitar liberar a la atmósfera la carga contaminante de los gases de efecto invernadero generados. Al mismo tiempo que, se evita la dispersión de olores y permite coleccionar biogás para su aprovechamiento energético. La generación de biogás aumenta con el incremento de temperatura en verano, ya que el intervalo óptimo de temperatura para el crecimiento de las bacterias metanogénicas se encuentra entre 30 a 35°C.

En cuanto al pH, el intervalo debe encontrarse entre 6,80 a 7,20 para el óptimo crecimiento de las bacterias metanogénicas. En caso contrario, se produce la acumulación de ácidos, por ejemplo, ácido sulfhídrico ( $\text{SH}_2$ ), generando malos olores.

Estas lagunas se caracterizan por ocupar poca superficie, contar con una profundidad de entre 3 a 5 m y presentar tiempos cortos de retención hidráulica. La remoción de los barros debe realizarse cada 1 a 3 años.



**Figura 8.** Esquema de una laguna anaerobia. Fuente: Propalma (s/f).

Las lagunas facultativas (figura 9) cuentan con una zona aerobia y una zona anaerobia, las cuales se ubican en la superficie y en el fondo, respectivamente. Es por este motivo que en este tipo de lagunas, se pueden encontrar diversos tipos de microorganismos. En el lodo del fondo de la laguna predominan los anaerobios estrictos, mientras que, en la zona inmediatamente adyacente a la superficie, prevalecen los aerobios estrictos. A su vez, en la parte intermedia de la laguna, la concentración de oxígeno disuelto puede ser muy variable a lo largo del día y del año. En esta zona, se encuentran los microorganismos facultativos, los cuales tienen la capacidad de adaptarse a dichas variaciones.

Mediante este tipo de lagunas, se busca lograr un efluente con la mayor calidad posible, en donde se establezca gran parte de la materia orgánica, así como también, reducir el contenido de nutrientes (P y N).

La degradación de la materia orgánica en las lagunas facultativas ocurre principalmente por la actividad metabólica de las bacterias heterótrofas facultativas. Si bien estos microorganismos pueden crecer en presencia y en ausencia de oxígeno disuelto, su velocidad de crecimiento, y en consecuencia, la velocidad de depuración, se incrementa en condiciones aerobias (Metcalf-Eddy, 1995). Debido a que la presencia de oxígeno es favorable para el tratamiento, el diseño de estas lagunas se realiza de manera tal que se favorezcan los mecanismos de oxigenación del medio. Por otro lado, la mezcla dentro de la laguna puede ocurrir por tres factores: el viento, el gradiente de temperatura diario, y la estratificación en su interior.

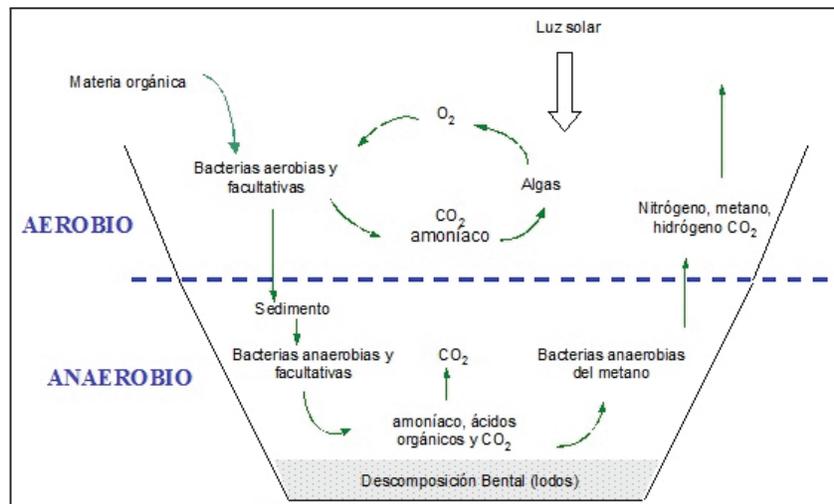
La presencia de oxígeno disuelto se debe fundamentalmente a la actividad fotosintética de las algas y a la aireación mediante la superficie. Para que las algas obtengan luz solar y puedan generar oxígeno, teniendo en cuenta que, la difusión de este elemento en el agua es muy lenta, estas lagunas son poco profundas (1,2 a 2,5 m). De esta manera, se garantiza un ambiente oxigenado en gran parte del perfil vertical de la laguna.

Las algas verdes indican un buen funcionamiento de la laguna, con pH elevado y un correcto balance de nutrientes. Las bacterias junto con las algas, actúan en forma simbiótica, resultando así, en la degradación de la materia orgánica. Las primeras utilizan el oxígeno otorgado por las segundas para metabolizar aeróbicamente los compuestos orgánicos. Como resultado, se obtienen nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en gran cantidad, los cuales son empleados por las algas para su crecimiento. En las ecuaciones (1) y (2) se puede observar este proceso.

Materia orgánica + Oxígeno = Productos oxidados + Nuevas bacterias **(1)**

Dióxido de carbono + Nutrientes disueltos = Nuevas algas + Oxígeno **(2)**

A diferencia de las lagunas anaerobias, las facultativas ocupan mayor espacio, y normalmente no producen olores. Otro aspecto a considerar es que, la remoción de los barros en este tipo de lagunas, debe realizarse periódicamente (entre 2 a 5 años).



**Figura 9.** Esquema de una laguna facultativa. Fuente: Propalma (s/f).

#### 5.1.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se aplica a las dos alternativas de tratamiento planteadas. En esta etapa se realiza la desinfección del efluente, que consiste en la eliminación de microorganismos patógenos presentes en el agua residual, que puedan representar un peligro para la salud pública, al tener como disposición final un cuerpo de agua o el suelo.

En este caso, la desinfección se realiza mediante el agregado de cloro en su forma de sal, hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ). Esta sustancia se descompone en el agua para formar hipoclorito, que a su vez desinfecta el agua al atacar las paredes celulares de los microorganismos patógenos. El hipoclorito también puede oxidar algunos contaminantes orgánicos presentes en el agua residual, reduciendo su carga contaminante.

El proceso para realizar la desinfección del agua residual, consta de dos áreas: un almacén químico para el acopio del hipoclorito de sodio, y una cámara de desinfección, en donde se lleva a cabo el contacto del agua residual con el compuesto desinfectante. Dicha cámara se compone de un tanque rectangular con deflectores que provocan que el flujo del líquido sea en forma de serpentín, asegurando que el desinfectante se mezcle con el agua a tratar de manera óptima. Esto garantiza el tiempo de contacto necesario para que el desinfectante actúe, que suele ser de 20 a 40 minutos a un caudal máximo.

#### 5.1.5. Tratamiento de lodos

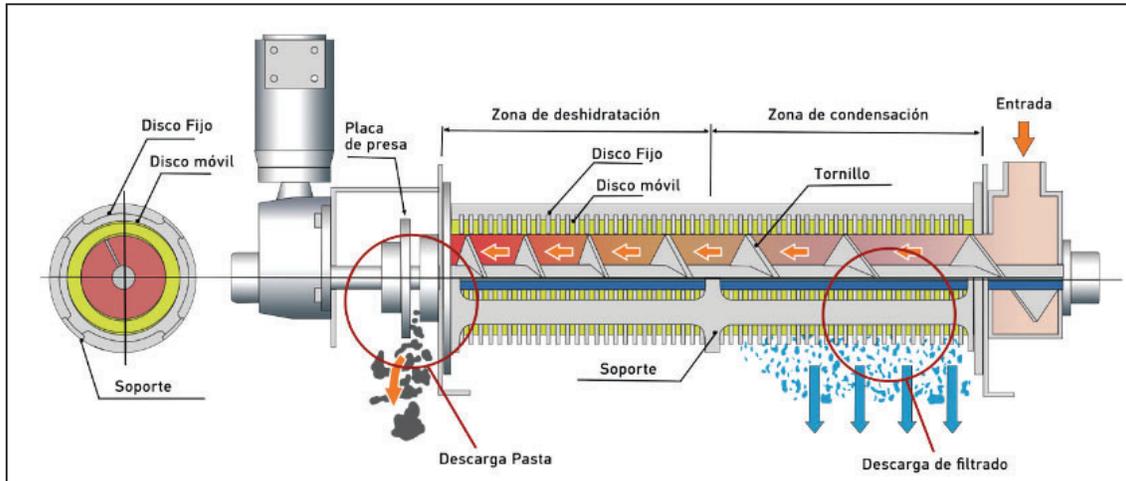
En el caso de la alternativa A de tratamiento, los lodos o biosólidos corresponden al material que es retirado del fondo del tanque de la unidad de tratamiento de DAF, del reactor UASB y del sedimentador secundario del sistema de lodos activados. En cambio, en

la alternativa B, este material corresponde al retirado de la unidad DAF y el que se retira periódicamente del fondo de las lagunas.

Los lodos contienen un gran porcentaje de agua, componentes orgánicos y diversos tipos de microorganismos que pueden resultar nocivos para la salud pública y el medio ambiente. Su tratamiento se realiza con el fin de reducir su volumen, la presencia de microorganismos patógenos, el potencial de putrefacción, y por lo tanto, eliminar los olores desagradables.

En el caso de la alternativa B del presente proyecto, los lodos de las lagunas son retirados periódicamente, y posteriormente, son tratados mediante empresas contratadas para realizar dichas tareas. En cambio, para el tratamiento de los lodos de la unidad DAF de ambas alternativas, así como también, de los lodos provenientes del reactor UASB y del sedimentador secundario de la alternativa A, se utiliza el equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco (figura 10), el cual permite condensar, deshidratar y compactar distintos tipos de lodos en una única unidad. El equipo se compone de una serie de discos fijos y móviles que cubren a un tornillo sin fin que se encuentra en el centro del sistema. Esta pieza se encarga de transportar el lodo a través del equipo, mientras que, los discos aplican presión sobre el lodo para extraer el agua en la zona de condensación. De esta manera, se logra un espesamiento constante del material.

A medida que el lodo se dirige hacia la zona de deshidratación, aumenta progresivamente la presión que aportan los discos, reduciendo aún más la humedad del mismo. Finalmente, una placa en el extremo del eje del tornillo, genera la resistencia necesaria para que mediante impulsión progresiva, se logre la deshidratación completa del lodo. Entre sus ventajas se encuentran: bajo consumo energético; diseño compacto; mecanismo de autolimpieza; operación limpia y sin ruido; operación automática continua; bajo consumo de agua de lavado.



**Figura 10.** Esquema del equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco.

Fuente: Ekoton (s/f).

#### 5.1.6. Cámara de toma de muestras y medición de caudales

Según la Resolución N°607/2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (MAyDS) se establece que todos los establecimientos industriales y/o especiales comprendidos en el artículo 2° del Decreto Reglamentario N°674/89 y su modificatorio, deben construir una Cámara de Toma de Muestras y Medición de Caudales (CTMyMC) para permitir la fiscalización por parte de la autoridad de aplicación. La construcción de la misma se realiza de acuerdo con las especificaciones enunciadas en dicha normativa y se pueden observar en las Figuras Figuras I y II del Anexo II.

#### 5.2. Comparación de las alternativas de tratamiento

Para realizar la comparación de las alternativas de tratamiento, se utiliza una herramienta cualitativa llamada Matriz de Pugh, que permite la comparación de diferentes opciones entre sí, mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). De esta manera, se selecciona la mejor opción que se adecúa a determinados criterios. Esta herramienta se utiliza con frecuencia en la fase de diseño de un producto o proyecto o en la actualización de uno existente.

Para la confección de esta matriz, se comienza identificando los criterios a evaluar, es decir, las necesidades del cliente o los requerimientos más relevantes del proyecto que se deben tener en cuenta. Dichos criterios se ubican en las filas de la matriz. Luego, se establecen los productos o alternativas de diseño, que cumplan con los criterios definidos inicialmente. En este caso, corresponden a las alternativas de tratamiento planteadas en el presente proyecto. Los mismos se localizan en las columnas de la matriz.

Según el producto o proyecto a desarrollar, algunos criterios tienen más importancia que otros. Es por esto que, en la columna llamada "Peso/Grado de relevancia", se le asigna un puntaje del 1 al 10, en donde 1 significa que el criterio es considerado muy poco relevante y 10 significa muy relevante. Asimismo, para indicar cómo se desempeña cada alternativa respecto a la otra en relación con un criterio determinado, se valora cada una de ellas utilizando los siguientes puntajes:

- ❖ **-1**: indica que la alternativa analizada no es favorable en comparación con la otra alternativa según el criterio evaluado.
- ❖ **0**: indica que ambas alternativas cuentan con un desempeño similar en el criterio evaluado.
- ❖ **+1**: indica que la alternativa analizada es favorable en comparación con la otra alternativa según el criterio evaluado.

Finalmente, se realiza una suma ponderada para adaptar los puntajes anteriores en base al peso que tiene cada criterio. La alternativa que cuenta con un mayor puntaje es la que resulta más favorable según los criterios definidos. Esto también se puede visualizar rápidamente en un gráfico de barras.

Para realizar la Matriz de Pugh del presente proyecto, los criterios que se evalúan son los siguientes: eficiencia de remoción de la DQO, eficiencia de remoción de la DBO, superficie ocupada, requerimiento energético, producción de lodos, costo de inversión y costo de operación y mantenimiento.

En la tabla 2 se puede observar la matriz desarrollada. Por un lado, se considera de relevancia muy alta los criterios de eficiencia de remoción de DQO y DBO ya que sus valores deben cumplir lo establecido en la normativa. Asimismo, el costo de inversión es muy importante debido a que afecta directamente la viabilidad financiera del proyecto. Por otro lado, el requerimiento energético y el costo de operación y mantenimiento se considera de relevancia alta en comparación a los criterios mencionados anteriormente, ya que se cuenta con los recursos necesarios para satisfacer la demanda de energía y el costo de funcionamiento. Por último, la superficie ocupada y la producción de lodos se consideran de relevancia moderada, ya que se cuenta con la superficie requerida para la instalación del proyecto y con los recursos necesarios para el tratamiento de lodos.

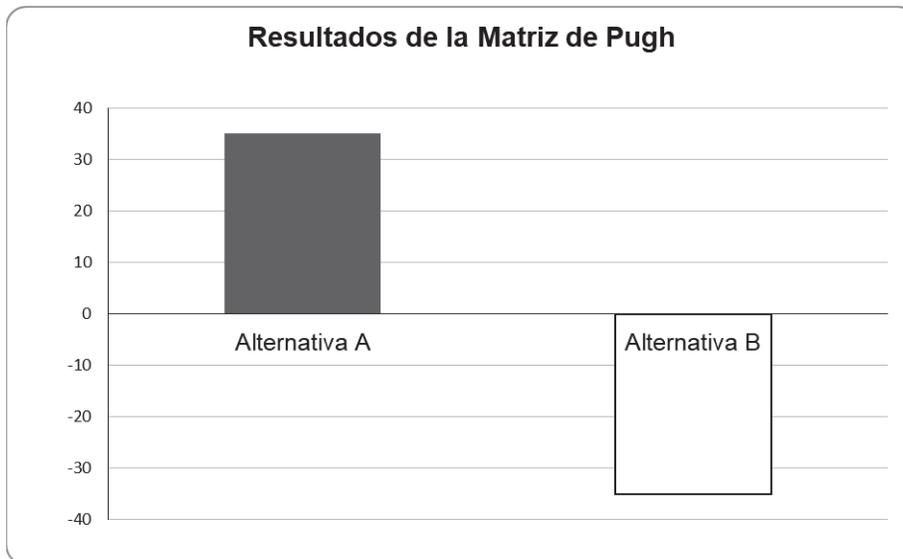
En un primer análisis, se observa que la opción más favorable es la A, logrando obtener 35 puntos. En cambio, la alternativa B resulta favorable debido a que se alcanza un resultado negativo de -35 puntos. Esto se puede visualizar tanto en la tabla II como en la

figura 11, en donde se muestra el gráfico de barras de la matriz de Pugh. Al finalizar la sección 7. Memoria de cálculo de diseño, se determinará finalmente cuál alternativa resulta más adecuada.

**Tabla 2. Matriz de Pugh del proyecto. Fuente: elaboración propia.**

MATRIZ DE PUGH Diseño de una planta de tratamiento de efluentes para una industria citrícola ubicada en el municipio de Bella Vista, provincia de Tucumán.		Peso/Grado de relevancia	Productos/Alternativas de diseño	
			Alternativa A	Alternativa B
			Tren de lagunas de estabilización	Reactor UASB + Lodos activados
Criterios	Eficiencia de remoción de la DQO	10	1	-1
	Eficiencia de remoción de la DBO	10	1	-1
	Superficie ocupada	5	-1	1
	Requerimiento energético	7	1	-1
	Producción de lodos	5	-1	1
	Costo de inversión	10	1	-1
	Costo de operación y mantenimiento	8	1	-1
	TOTAL			3

SUMA PONDERADA	10	-10
	10	-10
	-5	5
	7	-7
	-5	5
	10	-10
	8	-8
<b>35</b>	<b>-35</b>	



**Figura 11. Gráfico de barras de la Matriz de Pugh del proyecto. Fuente: elaboración propia.**

## 6. Memoria descriptiva

### 6.1. Pretratamiento

#### 6.1.1. Sistema de rejas medias

Se opta por la instalación de un doble sistema de rejas medias de limpieza manual, de manera que, al realizar el mantenimiento de un equipo, el segundo pueda resistir el caudal completo del efluente. Esta unidad se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023). En la tabla 3, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la construcción del sistema de rejas medias.

**Tabla 3.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del sistema de rejas medias.

Fuente: elaboración propia.

<b>SISTEMA DE REJAS MEDIAS</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Largo de la reja	$L_R$	0,67	m
Separación de las barras de la reja	$b$	25,00	mm
Ancho de las barras de la reja	$w$	5,00	mm
Ángulo de la reja con respecto a la vertical	$\theta_V$	30,00	Grados
Velocidad de aproximación	$V_A$	0,30	m/s
Pérdida de carga	$h_L$	20,00	mm
Número de barras	$n_{bar}$	9,00	U
Número de espacios	$n_{esp}$	10,00	U
<b>SECCIÓN DEL CANAL</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho del canal	$W_C$	0,30	m
Longitud del canal	$L_C$	0,80	m
Profundidad del canal	$P_C$	0,58	m

#### 6.1.2. Sistema de rejas finas

Se opta por la instalación de un doble sistema de rejas finas de limpieza manual, de manera que, al realizar el mantenimiento de un equipo, el segundo pueda resistir el caudal completo del efluente. Esta unidad se fabrica a medida por el proveedor Blasevich

Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023). En la tabla 4, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la construcción del sistema de rejas finas.

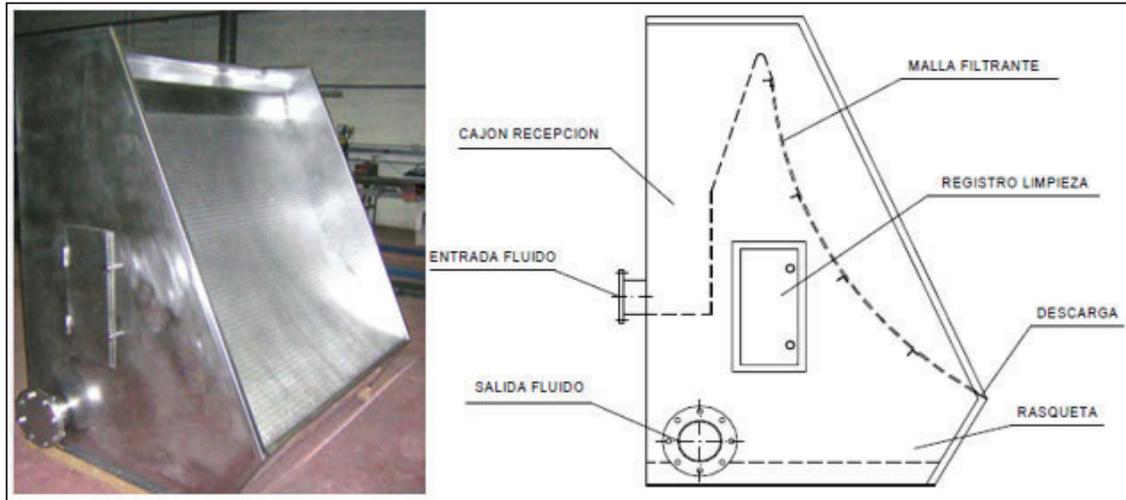
**Tabla 4.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del sistema de rejas finas.

Fuente: elaboración propia.

<b>SISTEMA DE REJAS FINAS</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Largo de la reja	$L_R$	0,45	m
Separación de las barras de la reja	b	25,00	mm
Ancho de las barras de la reja	w	10,00	mm
Ángulo de la reja con respecto a la vertical	$\theta_V$	30,00	Grados
Velocidad de aproximación	$V_A$	0,04	m/s
Pérdida de carga	$h_L$	23,00	mm
Número de barras	$n_{bar}$	8,00	U
Número de espacios	$n_{esp}$	9,00	U
<b>SECCIÓN DEL CANAL</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho del canal	$W_C$	0,30	m
Longitud del canal	$L_C$	0,40	m
Profundidad del canal	$P_C$	0,39	m

### 6.1.3. Sistema de tamices

Se opta por la instalación de un sistema doble de tamiz estático de malla fina (rejilla de 0,25 mm), de manera que, al realizar el mantenimiento de un equipo, el segundo pueda resistir el caudal completo del efluente. Para esta unidad de tratamiento, se utiliza un equipo comercializado por la empresa Gedar (figura 12), que según la ficha técnica del mismo (Tabla II del Anexo III), el modelo GTE 1200, cuenta con una luz de paso de malla de 0,15 mm y un caudal máximo de agua de 30 m<sup>3</sup>/h, cumpliendo con lo requerido.



**Figura 12.** Esquema del tamiz estático comercializado por la empresa Gedar.

Fuente: Gedar, s/f.

#### 6.1.4. Tanque de compensación

Se opta por la instalación de un tanque de compensación de sección circular, cuyas dimensiones se encuentran en la tabla 5. El mismo se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023).

**Tabla 5.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del tanque de compensación.

Fuente: elaboración propia.

TANQUE DE COMPENSACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Volumen del tanque	$V_{tanque}^{final}$	155,51	m <sup>3</sup>
Altura del tanque	h	5,50	m
Diámetro del tanque	D	6,00	m
Área de la base del tanque	$A_B$	28,00	m <sup>2</sup>
Factor de seguridad	f	20,00	%

El sistema de aireación de esta unidad, está conformado por los siguientes componentes de la marca Repicky (s/f): 19 difusores de burbuja gruesa y 1 soplador que trabaja como compresor, modelo R200 ( $\Delta P = 600$  mbar;  $Q = 209$  m<sup>3</sup>/h;  $P = 6,90$  HP). En la tabla 6, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación.

**Tabla 6.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación. Fuente: elaboración propia.

SISTEMA DE AIREACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Potencia del aireador mecánico	$P_A$	2,18	kW
Caudal de aire total	$Q_{aire}^{total}$	186,60	m <sup>3</sup> aire/h
Número de difusores	$n_{dif}$	19,00	U
Área mínima	$A_M$	28,00	m <sup>2</sup>
Densidad de difusores	$\rho_{dif}$	0,66	dif/m <sup>2</sup>

## 6.2. Tratamiento primario

### 6.2.1. Coagulación

Se opta por el dimensionamiento de una cámara de coagulación de sección circular (ver tabla 7), la cual se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023).

**Tabla 7.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la cámara de coagulación. Fuente: elaboración propia.

CÁMARA DE COAGULACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Caudal	Q	26,26	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de permanencia	$T_P$	30,00	s
Volumen de la cámara	$V_{CC}$	0,22	m <sup>3</sup>
Diámetro de la cámara	$D_{CC}$	0,65	m
Altura de la cámara	$H_{CC}$	0,65	m
Área de la cámara	$A_{CC}$	0,34	m <sup>2</sup>
Diámetro de la turbina	$D_T$	0,22	m
Distancia al centro de cada paleta	B	0,05	m

Ancho de la paleta	W	0,04	m
Distancia del tabique de la cámara	L	0,07	m
Distancia desde el fondo de la cámara hasta la paleta	h	0,22	m

La mezcla es de tipo mecánica, llevada a cabo con turbina de flujo radial de 6 paletas y con un agitador liviano de turbina ya que no se requiere demasiada potencia (78,78 W). Ambos componentes corresponden al proveedor Crismet (s/f) y se pueden observar en las figuras 13 y 14, respectivamente. Los valores de los parámetros necesarios para la colocación del equipo de mezcla de la cámara de coagulación se detallan en la tabla 8.



**Figura 13.** Turbina radial de seis paletas en un disco para colocar en la cámara de coagulación.

Fuente: Crismet (s/f).



**Figura 14.** Agitador liviano de turbina para colocar en la cámara de coagulación y floculación.

Fuente: Crismet (s/f).

**Tabla 8.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del equipo de mezcla de la cámara de coagulación. Fuente: elaboración propia.

<b>EQUIPO DE MEZCLA</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Potencia de las turbinas	P	78,78	W
Velocidad de rotación	n	3,18	r.p.s.
Gradiente de velocidad	G	700,00	s <sup>-1</sup>

### 6.2.2. Floculación

Para el dimensionamiento de la cámara de floculación, al igual que para la cámara de coagulación, se opta por una unidad de sección circular (ver tabla 9), la cual se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023).

**Tabla 9.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la cámara de floculación. Fuente: elaboración propia.

<b>CÁMARA DE FLOCULACIÓN</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal	Q	26,26	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de permanencia	T <sub>P</sub>	25,00	min
Volumen de la cámara	V <sub>CF</sub>	10,94	m <sup>3</sup>
Diámetro de la cámara	D <sub>CF</sub>	2,30	m
Altura de la cámara	H <sub>CF</sub>	2,30	m
Área de la cámara	A <sub>CF</sub>	4,00	m <sup>2</sup>
Diámetro de la turbina	D <sub>T</sub>	0,75	m
Distancia al centro de cada paleta	B	0,20	m
Ancho de la paleta	W	0,09	m
Distancia del tabique de la cámara	L	0,19	m

Distancia desde el fondo de la cámara hasta la paleta	h	0,75	m
---	---	------	---

La mezcla es de tipo mecánica y se realiza con turbina de flujo axial (de 4 paletas) y con un agitador liviano de turbina ya que no se requiere demasiada potencia (70,02 W). Ambos componentes corresponden al proveedor Crismet (s/f) y se pueden observar en las figuras 15 y 14, respectivamente. Los valores de los parámetros necesarios para la colocación del equipo de mezcla de la cámara de floculación se detallan en la tabla 10.



**Figura 15.** Turbina axial de cuatro paletas en un disco para colocar en la cámara de floculación.  
Fuente: Crismet (s/f).

**Tabla 10.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del equipo de mezcla de la cámara de floculación. Fuente: elaboración propia.

EQUIPO DE MEZCLA			
Parámetro		Valor	Unidad
Potencia de las turbinas	P	70,02	W
Velocidad de rotación	n	0,70	r.p.s.
Gradiente de velocidad	G	80,00	s <sup>-1</sup>

El floculante, al igual que el coagulante, son añadidos mediante una bomba dosificadora electrónica del proveedor Hasa (figura 16). La misma cuenta con un caudal máximo que varían entre 1 a 10 m<sup>3</sup>/h y con una presión máxima que varía entre 5 a 10 kg/cm<sup>2</sup>. En la figura III del Anexo III se observa la ficha técnica del equipo.



FCO-05.05

**Figura 16.** Bomba dosificadora electrónica. Fuente: Bombas Hasa (2021).

### 6.2.3. Flotación por aire disuelto (DAF)

Se opta por el dimensionamiento de una cámara DAF de sección rectangular (ver tabla 11), la cual se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023).

**Tabla 11.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la cámara DAF.

Fuente: elaboración propia.

CÁMARA DAF			
Parámetro		Valor	Unidad
Caudal	Q	26,26	m <sup>3</sup> /h
Caudal recirculado	R	15,60	m <sup>3</sup> /h
Caudal total	Q <sub>T</sub>	42,00	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de retención	t <sub>r</sub>	15,00	min
Volumen de la cámara	V	10,50	m <sup>3</sup>
Área superficial de la cámara	A <sub>sup</sub>	7,00	m <sup>2</sup>
Altura de la cámara	h	1,50	m
Volumen de la cámara de presurización	V <sub>pres.</sub>	3,94	m <sup>3</sup>
Superficie de la cámara de presurización	A <sub>pres.</sub>	1,40	m <sup>2</sup>
Altura de la cámara de presurización	h <sub>pres.</sub>	2,75	m

Volumen de barros generados por día	Volumen barros/día	126.040,00	L barro/día
-------------------------------------	--------------------	------------	-------------

El sistema de aireación de esta unidad, está conformado por los siguientes componentes de la marca Repicky (s/f): 3 difusores de burbuja fina y 1 soplador que trabaja como compresor, modelo R100 ( $\Delta P = 200$  mbar;  $Q = 23,10$  m<sup>3</sup>/h;  $P = 0,50$  HP). En la tabla 12, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación.

**Tabla 12.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación de la cámara DAF. Fuente: elaboración propia.

SISTEMA DE AIREACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Potencia del aireador mecánico	$P_A$	0,15	kW
Caudal de aire total	$Q_{aire}^{total}$	12,60	m <sup>3</sup> aire/h
Número de difusores	$n_{dif}$	3,00	U
Área mínima	$A_M$	3,50	m <sup>2</sup>
Densidad de difusores	$\rho_{dif}$	0,36	dif/m <sup>2</sup>

### 6.3. Tanque de compensación

Para el caso de la alternativa A, previo al tratamiento secundario, se opta por la instalación de un tanque de compensación de sección circular, cuyas dimensiones se encuentran en la tabla 13.

**Tabla 13.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del tanque de compensación. Fuente: elaboración propia.

TANQUE DE COMPENSACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Volumen del tanque	$V_{tanque}^{final}$	38,48	m <sup>3</sup>
Altura del tanque	h	4,00	m

Diámetro del tanque	D	3,50	m
Área de la base del tanque	$A_B$	10,00	m <sup>2</sup>

El sistema de aireación de esta unidad, está conformado por los siguientes componentes de la marca Repicky (s/f): 5 difusores de burbuja gruesa y 1 soplador que trabaja como compresor, modelo R100 ( $\Delta P = 400$  mbar;  $Q = 57,90$  m<sup>3</sup>/h;  $P = 1,60$  HP). En la tabla 14, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación.

**Tabla 14.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación. Fuente: elaboración propia.

SISTEMA DE AIREACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Potencia del aireador mecánico	$P_A$	0,54	kW
Caudal de aire total	$Q_{aire}^{total}$	46,20	m <sup>3</sup> aire/h
Número de difusores	$n_{dif}$	5,00	U
Área mínima	$A_M$	3,00	m <sup>2</sup>
Densidad de difusores	$\rho_{dif}$	0,48	dif/m <sup>2</sup>

## 6.4. Tratamiento secundario (Alternativa A)

### 6.4.1. Reactor UASB

El tratamiento secundario de la alternativa A inicia con un reactor UASB con cuatro campanas, cuyas dimensiones pueden observarse en la tabla 15. Esta unidad se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023)

**Tabla 15.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del reactor UASB y de los separadores trifásicos o campanas. Fuente: elaboración propia.

REACTOR UASB			
Parámetro		Valor	Unidad
Caudal	Q	27,87	m <sup>3</sup> /h

Volumen	V	167,23	m <sup>3</sup>
Área total	A <sub>tot</sub>	42,75	m <sup>2</sup>
Altura total	h <sub>tot</sub>	4,00	m
Ancho	c	4,50	m
Largo	b	9,50	m
Tiempo de retención hidráulico	$\theta$	6,00	h
Cantidad de tubos del sistema de distribución del efluente	N <sub>d</sub>	20,00	U
Caudal de biogás generado	Q <sub>Biogás</sub>	795,75	m <sup>3</sup> /d
<b>SEPARADOR TRIFÁSICO Ó CAMPANA</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Cantidad de campanas	-	4,00	U
Ancho de la campana	A <sub>C</sub>	0,25	m
Largo de la campana	L <sub>C,unidad</sub>	6,63	m
Ancho del deflector	a	0,35	m
Largo y alto de la pared inclinada de la campana	r	1,08	m
Ángulo de la campana	$\alpha$	54,10	Grados
Área de paso o área libre de la campana	A <sub>P</sub>	43,08	m <sup>2</sup>
Área de captación del gas	A <sub>i</sub>	6,63	m <sup>2</sup>

#### 6.4.2. Reactor de lodos activados

El reactor de lodos activados se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023), sus dimensiones y características más relevantes se detallan en la tabla 16.

**Tabla 16.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del reactor de lodos activados.

Fuente: elaboración propia.

<b>REACTOR DE LODOS ACTIVADOS</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal de entrada	Q <sub>0</sub>	27,87	m <sup>3</sup> /h

Concentración de microorganismos en el reactor	X	6.000,00	mg/L
Tiempo de retención hidráulico	$\theta$	6,56	h
Tiempo de retención celular	$\theta_c$	7,59	d
Volumen	V	182,79	m <sup>3</sup>
Altura	h	6,00	m
Área	A	30,47	m <sup>2</sup>
Producción de lodos	P <sub>x</sub>	144,41	kg/d

El sistema de aireación de esta unidad, está conformado por los siguientes componentes de la marca Repicky (s/f): 125 difusores de burbuja fina y 2 sopladores que trabajan como compresores, modelo R6.5 ( $\Delta P = 600,00$  mbar;  $Q = 12.850,00$  m<sup>3</sup>/h;  $P = 340,00$  HP). En la tabla 17, se pueden observar los valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del tanque de compensación.

**Tabla 17.** Valores de los parámetros necesarios para la colocación del sistema de aireación del reactor de lodos activados. Fuente: elaboración propia.

SISTEMA DE AIREACIÓN			
Parámetro		Valor	Unidad
Requerimiento de oxígeno	RO	603,44	kg O <sub>2</sub> /h
Requerimiento de oxígeno estándar	SOR	6.008,89	kg O <sub>2</sub> /h
Caudal de oxígeno a suministrar	Q <sub>O<sub>2</sub></sub>	23.735,70	kg O <sub>2</sub> /h
Caudal de aire por difusor	Q <sub>aire</sub> <sup>diseño</sup>	5,00	Nm <sup>3</sup> /h
Densidad de difusores	$\rho_{dif}$	4,10	dif/m <sup>2</sup>
Cantidad de difusores	n <sub>dif</sub>	125	U

#### 6.4.3. Sedimentador secundario

Para la última etapa del tratamiento secundario de la alternativa A, se plantea el uso de un sedimentador secundario de geometría circular, sin barredores. La base de esta unidad es de tipo cono invertido y con una pendiente de sesenta grados. Este sistema se utiliza con el fin de que los lodos generados en el reactor biológico puedan sedimentar.

Aproximadamente, el 32% del caudal que ingresa a esta unidad de tratamiento retorna al reactor biológico para mantener una alta concentración de microorganismos en el sistema, mientras que, el efluente clarificado es conducido a desinfección para su posterior descarga al cuerpo receptor.

Los lodos se remueven de manera continua a partir del uso de cadenas barredoras que lo empujan lentamente mediante zapatas, a un concentrador donde son extraídos periódicamente por medio de la fuerza de gravedad.

Esta unidad se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023), sus dimensiones y características más relevantes se detallan en la tabla 18.

**Tabla 18.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción del sedimentador secundario.

Fuente: elaboración propia.

<b>SEDIMENTADOR SECUNDARIO</b>			
<b>Zona de clarificación</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal de entrada	$Q_{sed}$	41,31	m <sup>3</sup> /h
Área de sedimentación	$A_{sed}$	61,96	m <sup>2</sup>
Carga hidráulica	$C_H$	16,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día
Diámetro del sedimentador	$D$	8,88	m
Tiempo de permanencia	$T_P$	2,00	h
Volumen de clarificación	$V_{CL}$	82,61	m <sup>3</sup>
Altura de clarificación	$H_{CL}$	1,33	m
<b>Zona de barros</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ángulo externo	-	30,00	Grados
Altura de la tolva	$H'_{tolva}$	7,43	m
Volumen de la tolva	$V_{tolva}$	155,76	m <sup>3</sup>
Diámetro de salida de barros	$D_{salida}$	0,30	m
Área inferior de la tolva	$A_{inf}$	0,07	m <sup>2</sup>

Altura inferior de la tolva	$H_{inf}$	0,26	m
<b>Dimensiones finales del sedimentador secundario</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen total del sedimentador	$V_{sed}$	238,37	$m^3$
Altura total del sedimentador	$H_{sed}$	8,77	m
<b>Zona del vertedero</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal del vertedero	$q_v$	$1,09E^{-3}$	$m^3/s$
Altura del vertedero	$h_v$ real	0,07	m
Número de vertederos	$n_{ver}$	8,00	U
Ancho del vertedero	$w_v$	0,14	m
Largo total de los vertederos	$L_v$	0,98	m
Perímetro	P	27,90	m
Espacio entre vertederos	-	3,36	m
Área del canal	$A_C$	0,14	$m^2$
Ancho de la base de la canaleta	$B_C$	0,20	m
Altura de la canaleta	$h_C$	0,70	m
Altura de la pared externa del vertedero	$h_{pared}$ externa	1,00	m
Pendiente del vertedero	-	0,001	m

### 6.5. Tratamiento secundario (Alternativa B)

La configuración del tren de lagunas de tratamiento seleccionada en la alternativa B, comienza con una laguna anaeróbica, continúa con una primera laguna facultativa y finaliza con una segunda laguna facultativa. El proveedor seleccionado para la construcción de las lagunas es Coripa (s/f).

Las tres lagunas son construidas con una relación largo-ancho de 2:1 y sus paredes cuentan con una pendiente de 45° para prevenir derrumbes. Sobre la base y las paredes de las lagunas se colocan geomembranas de PVC de 800 micrones del proveedor Coripa, que cumplen la función de ser una barrera impermeable para evitar la infiltración del efluente en

el suelo y en el agua subterránea. La ficha técnica de la geomembrana se puede observar en la Tabla IV del Anexo III. El sistema de conducción del efluente a través del tren de lagunas se realiza por gravedad mediante la colocación de cañerías.

#### 6.5.1. Diseño de la laguna anaerobia

Las dimensiones de la laguna anaerobia se pueden observar en la tabla 19. La misma se construye semienterrada mediante un terraplén para evitar el contacto con la napa freática, la cual cuenta con una profundidad de 3 metros aproximadamente (Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, 2008). Para impedir la liberación a la atmósfera del biogás generado, esta laguna se cubre con el mismo tipo de geomembrana mencionado anteriormente, de esta manera, se puede recuperar el biogás para su aprovechamiento energético. La eficiencia de remoción de DBO de esta laguna es de un 50%.

**Tabla 19.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la laguna anaerobia. Fuente: elaboración propia.

<b>LAGUNA ANAEROBIA</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	h	5,00	m
Volumen	V	12.991,14	m <sup>3</sup>
Largo superior	L <sub>SUP</sub>	77,00	m
Largo inferior	L <sub>INF</sub>	67,00	m
Ancho superior	W <sub>SUP</sub>	41,00	m
Ancho inferior	W <sub>INF</sub>	31,00	m
Área superficial	A <sub>S</sub>	3.157,00	m <sup>2</sup>
Área de la base	A <sub>B</sub>	2.077,00	m <sup>2</sup>

#### 6.5.2. Diseño de la laguna facultativa

Las dimensiones de las dos lagunas facultativas a construir se pueden observar en las tablas 20 y 21. En el caso de estas lagunas, también se construyen semienterradas mediante un terraplén para evitar el contacto con la napa freática. La eficiencia de remoción de DBO de ambas lagunas facultativas es del 79% aproximadamente.

**Tabla 20.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la laguna facultativa N°1.

Fuente: elaboración propia.

<b>LAGUNA FACULTATIVA N°1</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	h	1,50	m
Volumen	V	88.351,72	m <sup>3</sup>
Largo superior	L <sub>SUP</sub>	345,00	m
Largo inferior	L <sub>INF</sub>	342,00	m
Ancho superior	W <sub>SUP</sub>	173,10	m
Ancho inferior	W <sub>INF</sub>	170,10	m
Área superficial	A <sub>S</sub>	59719,50	m <sup>2</sup>
Área de la base	A <sub>B</sub>	58.174,20	m <sup>2</sup>

**Tabla 21.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la laguna facultativa N°2.

Fuente: elaboración propia.

<b>LAGUNA FACULTATIVA N°2</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	h	1,50	m
Volumen	V	4.500,88	m <sup>3</sup>
Largo superior	L <sub>SUP</sub>	79,00	m
Largo inferior	L <sub>INF</sub>	76,00	m
Ancho superior	W <sub>SUP</sub>	40,21	m
Ancho inferior	W <sub>INF</sub>	37,21	m
Área superficial	A <sub>S</sub>	3.176,59	m <sup>2</sup>
Área de la base	A <sub>B</sub>	2.827,96	m <sup>2</sup>

## 6.6. Tratamiento terciario

Las dimensiones de la cámara de desinfección difieren para cada alternativa de tratamiento, las mismas se pueden observar en las tablas 22 y 23. Dicha unidad se fabrica a medida por el proveedor Blasevich Hermanos Talleres Navales e Industriales S.R.L. (Blasevich Hnos, 2023). Para la desinfección del efluente se emplea hipoclorito de sodio, el

cual es aplicado mediante una bomba dosificadora electrónica del proveedor Hasa (ver figura jj). Una vez realizado el tratamiento terciario, el efluente se vuelca en el Río Salí.

**Tabla 22.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la cámara de desinfección de la alternativa A. Fuente: elaboración propia.

<b>CÁMARA DE DESINFECCIÓN (ALTERNATIVA A)</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal	Q	42,00	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de permanencia	t <sub>p</sub>	40,00	min
Volumen de la cámara	V	27,54	m <sup>3</sup>
Altura de la cámara	h	3,20	m
Área de la cámara	A	9,18	m <sup>2</sup>
Largo de la cámara	L	10,00	m
Ancho de la cámara	A <sub>real</sub>	2,10	m
Ancho de camino	c	0,20	m
Número de tabiques	n <sub>tab</sub>	4,00	U
Ancho de la pared externa	A <sub>pared</sub>	0,25	m
Capacidad del dosificador de cloro	Cap <sub>cloro</sub>	0,51	kg Cl/d

**Tabla 23.** Valores de los parámetros necesarios para la construcción de la cámara de desinfección de la alternativa B. Fuente: elaboración propia.

<b>CÁMARA DE DESINFECCIÓN (ALTERNATIVA B)</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal	Q	27,87	m <sup>3</sup> /h
Tiempo de permanencia	t <sub>p</sub>	40,00	min
Volumen de la cámara	V	18,58	m <sup>3</sup>
Altura de la cámara	h	3,20	m
Área de la cámara	A	6,19	m <sup>2</sup>
Largo de la cámara	L	10,00	m
Ancho de la cámara	A <sub>real</sub>	1,75	m

Ancho de camino	c	0,20	m
Número de tabiques	$n_{tab}$	3,00	U
Ancho de la pared externa	$A_{pared}$	0,25	m
Capacidad del dosificador de cloro	$Cap_{cloro}$	0,34	kg Cl/d

## 6.7. Tratamiento de lodos

Para el tratamiento de los lodos que provienen de la unidad DAF de ambas alternativas de tratamiento, se utiliza el equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco modelo MDQ-354 C fabricado por el proveedor Ekoton. De acuerdo con las fichas técnicas del mismo (ver Tablas V y VI del Anexo III), el equipo cuenta con una productividad hidráulica<sup>4</sup> de 6,40 m<sup>3</sup>/h (para un contenido de sólidos secos del 10%), la cual es mayor que la requerida según la producción de lodos en la unidad DAF del proyecto (5,25 m<sup>3</sup>/h).

En cambio, para el tratamiento de los lodos que provienen del tratamiento secundario de la alternativa A, se utiliza el modelo MDQ-101 C del proveedor mencionado anteriormente. En base a sus fichas técnicas, el mismo cuenta con una productividad hidráulica de 0,12 m<sup>3</sup>/h (para un contenido de sólidos secos del 10%), la cual es mayor que la requerida según la producción de lodos en el tratamiento secundario de la alternativa A (0,04 m<sup>3</sup>/h).

Sin embargo, para determinar con mayor exactitud el porcentaje de sólidos secos del efluente citrícola, se deben realizar análisis de laboratorio del mismo, así como también, efectuar pruebas en el equipo en condiciones reales.

## 6.8. Sistema de conducción e impulsión del efluente

El proveedor seleccionado para las tuberías necesarias del sistema de conducción del efluente es Tigre Argentina S.A. El mismo provee tubos soldables de PVC Clase 10 con diámetros de 40, 50, 110, 160 y 200 mm. En la figura III del Anexo III se puede observar la ficha técnica de las tuberías.

En cambio, para la impulsión del efluente se seleccionan las bombas sumergibles para aguas residuales del proveedor Hasa (modelo Minipaf) que se observa en la figura 17.

<sup>4</sup> La productividad hidráulica se refiere a la cantidad de lodo que el equipo puede procesar en términos de volumen por hora.

Dichas bombas son capaces de trabajar con caudales de entre 0,60 a 30,00 m<sup>3</sup>/h, cuentan con potencias de entre 0,37 a 1,10 kW y pueden alcanzar una altura manométrica de entre 1,00 a 11,00 m. La ficha técnica del equipo se detalla en la Tabla VII del Anexo III.



**Figura 17.** Bomba sumergible para aguas residuales del proveedor Hasa, modelo Minipaf.

Fuente: Bombas Hasa (2021).

Para el transporte de los lodos desde la unidad DAF hacia su correspondiente tratamiento, se utilizan las bombas sumergibles para achique y drenaje del proveedor Hasa (modelo Supersand) que se observa en la figura 18. Dichas bombas son capaces de trabajar con caudales de entre 4500 a 157000 L/h, cuentan con potencias de entre 1,10 a 3,80 kW y pueden alcanzar una altura manométrica de entre 5,00 a 35,00 m. La ficha técnica del equipo se detalla en la Tabla VIII del Anexo III.



**Figura 18.** Bomba sumergible para aguas residuales del proveedor Hasa, modelo Supersand.

Fuente: Bombas Hasa (2021).

## 6.9. Esquemas de la planta de tratamiento

A continuación, en las figuras 19 y 20, se muestran los esquemas de la planta de tratamiento del efluente citrícola, según las alternativas propuestas.

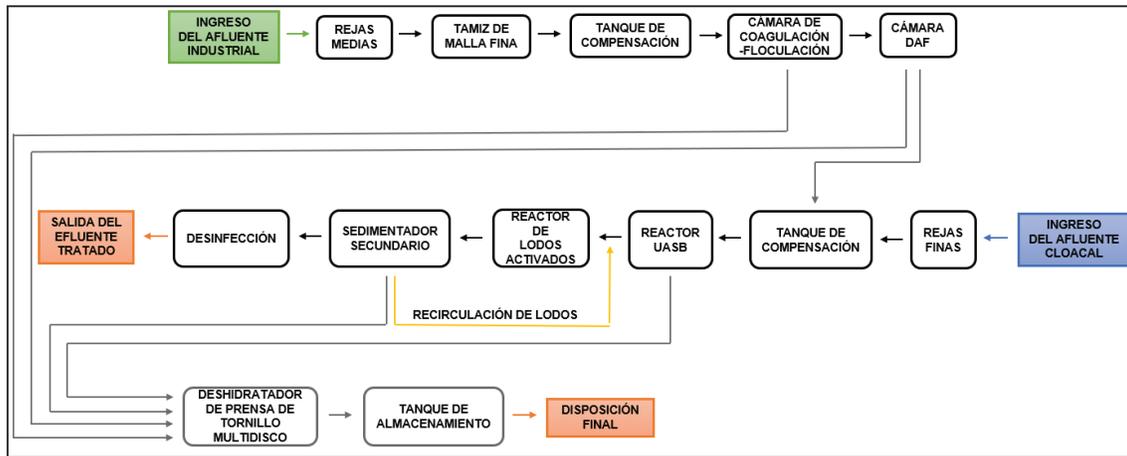


Figura 19. Esquema de la planta de tratamiento de efluentes líquidos según la alternativa A.

Fuente: elaboración propia.

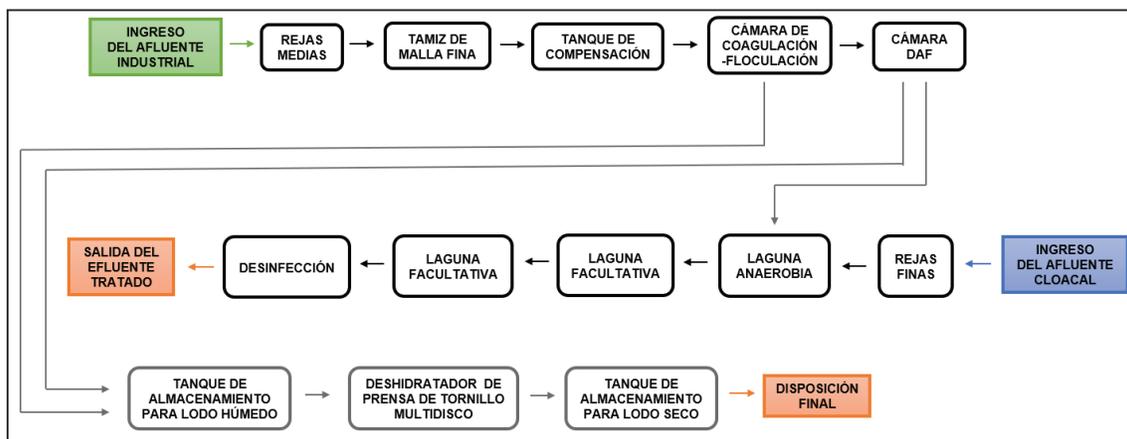


Figura 20. Esquema de la planta de tratamiento de efluentes líquidos según la alternativa B.

Fuente: elaboración propia.

## 7. Memoria de cálculo de diseño

### 7.1. Caudales de generación

Teniendo en cuenta lo detallado en la sección 4.5.1.1., se calcula el caudal de generación semanal del efluente industrial mediante la ecuación (3).

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{semanal}} = \frac{\text{tn de fruta procesada}}{\text{año}} * \frac{\text{m}^3 \text{ efluente}}{\text{tn de fruta procesada}} * \frac{\text{días trabajados}}{\text{semana}} \quad (3)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{semanal}} = \frac{50.000 \text{ tn}}{365 \text{ días}} * \frac{4 \text{ m}^3 \text{ efluente}}{\text{tn de fruta procesada}} * \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} = 2739,73 \frac{\text{m}^3}{\text{semana}}$$

Considerando una semana laboral de 5 días (de lunes a viernes), el caudal medio diario de generación de efluente industrial se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{medio, diario}} = \frac{2739,73 \frac{\text{m}^3 \text{ efluente}}{\text{semana}}}{5 \frac{\text{días}}{\text{semana}}} = 548,00 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Asimismo, con una variación de la producción del 15%, se calcula el caudal del efluente industrial máximo y mínimo diario con las ecuaciones (4) y (5), respectivamente.

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{max. diario}} = \text{Producción} * (1 + \text{Variación}) \quad (4)$$

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{min. diario}} = \text{Producción} * (1 - \text{Variación}) \quad (5)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{max. diario}} = 548,00 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \left(1 + \frac{15\%}{100\%}\right) = 630,20 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{industrial}}^{\text{min. diario}} = 548,00 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \left(1 - \frac{15\%}{100\%}\right) = 465,80 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

A continuación, con el uso de la ecuación (6), se muestra el cálculo realizado para obtener el caudal medio diario del efluente cloacal, tal como se explicó en la sección 4.5.1.2.

$$Q_{\text{cloacal}}^{\text{medio, diario}} = \text{Cant. de empleados} * \text{Dotación} \quad (6)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{\text{cloacal}}^{\text{medio, diario}} = 215 \text{ emp.} * 180 \frac{\text{L}}{\text{emp. día}} = 38700,00 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 38,70 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El contenido de materia orgánica del efluente cloacal ( $DBO_{cloacal}$ ) se calcula dividiendo la carga orgánica del mismo ( $CO_{cloacal}$ ) sobre el caudal medio de dicho efluente tal como se indica en la ecuación (7).

$$DBO_{cloacal} = \frac{CO_{cloacal}}{Q_{medio, diario}} \quad (7)$$

La carga orgánica del efluente cloacal se calcula multiplicando la cantidad de empleados que trabajan en la planta por la carga orgánica por persona por día (60 gDBO/hab.día), según la ecuación (8).

$$CO_{cloacal} = Cant. \text{ de empleados} * CO_{habitante.día} \quad (8)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CO_{cloacal} = 215 \text{ emp} * 60 \frac{gDBO}{emp.día} = 12900,00 \frac{gDBO}{día}$$

Finalmente, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (7), se puede calcular la DBO cloacal.

$$DBO_{cloacal} = \frac{12900 \frac{gDBO}{día}}{38,70 \frac{m^3}{día}} = 333,33 \frac{mgDBO}{L}$$

## 7.2. Pretratamiento

### 7.2.1. Sistema de rejillas medias

Para calcular el área de paso del canal ( $A_p$ ) del sistema de rejillas, se adopta una velocidad de aproximación ( $V_A$ ) de 0,30 m/s. Dado el valor de este parámetro, se selecciona un sistema de limpieza manual. Dicha velocidad debe ser suficiente para que los materiales en suspensión se apliquen sobre la rejilla, evitando que los mismos se depositen en el canal o que atraviesen el sistema de rejillas. Utilizando la ecuación (9) y considerando el caudal medio diario del efluente industrial, se obtiene el valor del área de paso del canal.

$$Q = V_A * A_p \quad (9)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_p = \frac{Q}{V_A} = \frac{\left(548 \frac{m^3}{d} * \frac{1 d}{86400 s}\right)}{0,30 \frac{m}{s}} = 0,02 m^2$$

La altura cinética de flujo que se aproxima a la reja o altura del pelo de agua ( $h_V$ ) se obtiene mediante la ecuación (10). Se propone un ancho de canal ( $W_C$ ) de 0,30 m para que sea factible su construcción.

$$h_V = \frac{A_P}{W_C} \quad (10)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_V = \frac{A_P}{W_C} = \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{0,30 \text{ m/s}} = 0,07 \text{ m}$$

Las variables adoptadas para el sistema de rejillas de limpieza automática son las siguientes:

- ❖ Separación de las barras de la reja ( $b$ ) = 0,025 m = 25 mm.
- ❖ Ancho de las barras de la reja ( $w$ ) = 0,005 m = 5 mm.
- ❖ Ángulo de la reja con respecto a la vertical ( $\theta_V$ ) = 30°
- ❖ Ángulo de la reja con respecto a la horizontal ( $\theta_H$ ) = 60°.
- ❖ Factor de la forma de la barra de la reja ( $\beta$ ) = 2,42 (barras circulares).

La pérdida de carga ( $h_L$ ) se obtiene con la ecuación (11).

$$h_L = \beta \left( \frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} h_V \text{sen}(\theta_H) \quad (11)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_L = 2,42 * \left( \frac{0,005 \text{ m}}{0,025 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} * 0,07 \text{ m} * \text{sen}(70^\circ) \Rightarrow h_L = 0,02 \text{ m} = 20 \text{ mm}$$

La pérdida de carga debe ser menor a 150 mm, por lo tanto, el sistema se encuentra dentro de los parámetros permisibles.

La altura de salida que tendrá el agua luego de atravesar el sistema de rejillas ( $h_{SAL}$ ), se obtiene con la ecuación (12):

$$h_{SAL} = h_V - h_L \quad (12)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_{SAL} = 0,07 \text{ m} - 0,02 \text{ m} \Rightarrow h_{SAL} = 0,05 \text{ m}$$

Para el cálculo del número de barras ( $n_{bar}$ ) y espacios ( $n_{esp}$ ) de la reja, se aplican las ecuaciones (13) y (14).

$$n_{esp} = \frac{W_c + w}{b + w} \quad (13)$$

$$n_{bar} = n_{esp} - 1 \quad (14)$$

Reemplazando los valores correspondientes en las ecuaciones mencionadas anteriormente, se obtiene:

$$n_{espacios} = \frac{0,30 \text{ m} + 0,005 \text{ m}}{0,025 \text{ m} + 0,005 \text{ m}} \Rightarrow n_{espacios} = 10$$

$$n_{bar} = 10 - 1 \Rightarrow n_{bar} = 9$$

Finalmente, con la ecuación (15), se verifica el ancho del canal ( $W'_c$ ) con el número de barras y de espacios calculados anteriormente.

$$W'_c = W_c * n_{bar} + b * n_{esp} \quad (15)$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$W'_c = 0,30 \text{ m} * 9 + 0,025 \text{ m} * 10 \Rightarrow W'_c = 0,30 \text{ m}$$

El ancho del canal verifica ya que no difiere del valor propuesto en primera instancia (0,30 m).

Por último, se verifica la altura del pelo de agua ( $h_v$ ) para el caudal industrial mínimo (0,005 m<sup>3</sup>/s) y máximo (0,007 m<sup>3</sup>/s) dando como resultado, 60 mm ( $h_{vmin}$ ) y 80 mm ( $h_{vmax}$ ), respectivamente, siendo ambos menores a 150 mm.

A continuación, se realiza el dimensionamiento de dos canales idénticos en paralelo, en donde cada uno de ellos tiene la capacidad de soportar un caudal máximo horario de 26,26 m<sup>3</sup>/h. De esta manera, al llevar a cabo el mantenimiento de un canal, el segundo puede resistir el caudal completo del efluente.

Para calcular la longitud de cada canal ( $L_c$ ), se utiliza la ecuación (16).

$$L_c = 10 * h_{vmax} \quad (16)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$L_c = 10 * 0,022 \text{ m} = 0,80 \text{ m}$$

La profundidad del canal ( $P_C$ ), se obtiene sumando la altura de pelo de agua máxima y una revancha, que contempla el agua que entra directo al canal por precipitaciones en caso de no estar cubierto y deja el espacio suficiente para que el canasto no sea alcanzado por el efluente. Esto se refleja en la ecuación (17).

$$P_C = h_{vmax} + revancha \quad (17)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P_C = 0,022 \text{ m} + 0,35 \text{ m} = 0,58 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que la profundidad del canal, la longitud de la reja ( $L_R$ ), se obtiene con la ecuación (18).

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{P_C}{L_R} \quad (18)$$

Reordenando los términos de la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$L_R = \frac{P_C}{\text{sen}(\alpha)} = \frac{0,58 \text{ m}}{\text{sen}(60^\circ)} = 0,67 \text{ m}$$

Para obtener el largo de la sombra de la reja, se utiliza la ecuación (19).

$$\text{cos}(\alpha) = \frac{\text{largo de la sombra de la reja}}{\text{largo de la reja}} \quad (19)$$

Reordenando y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Largo de la sombra de la reja} = \text{cos}(60^\circ) * 0,67 \text{ m} = 0,34 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta las dimensiones de la placa perforada (largo 0,60 m x grosor 0,025 m x ancho 0,30 m) con aberturas de 2,50 cm de diámetro y las dimensiones del canasto (largo 0,30 m x alto 0,30 m x ancho 0,30 m), el largo total se obtiene con la ecuación (20).

$$\text{Largo total} = \text{longitud de la reja} + \text{largo de la sombra de la reja} + \text{largo de la placa perforada} + \text{largo del canasto} \quad (20)$$

$$\text{Largo total} = 0,80 \text{ m} + 0,34 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = 2,04 \text{ m}$$

Según Metcalf & Eddy (1995), la cantidad de residuos que se puede separar con un sistema de rejas se encuentra entre 0,0035 m<sup>3</sup> y 0,0375 m<sup>3</sup> cada 10 m<sup>3</sup> de efluente. Considerando un promedio de 0,21 m<sup>3</sup> de residuos, en la tabla 24, se muestra la cantidad mínima, promedio y máxima de residuos separados al utilizar este sistema de rejas.

**Tabla 24** Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ ) según caudal promedio, mínimo y máximo.

Caudal ( $m^3/d$ )		Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ )
Promedio	548,00	11,51
Mínimo	465,80	9,78
Máximo	630,20	13,23

### 7.2.2. Sistema de rejillas finas

Para el cálculo del sistema de rejillas finas del efluente cloacal, se utiliza el mismo procedimiento que en la sección anterior (7.2.1) con la particularidad de que, en este caso, la velocidad de aproximación ( $V_a$ ) es de 0,04 m/s, el ancho de la barra ( $w$ ) es de 0,01 m y el canasto tiene las siguientes dimensiones: largo 0,20 m x alto 0,20 m x ancho 0,30 m. En la sección 6.1.2. se detallan las dimensiones obtenidas para este sistema.

Considerando los mismos valores que en la sección anterior, la cantidad de residuos separados con el sistema de rejillas finas en el efluente cloacal, en la tabla 25, se muestra la cantidad mínima, promedio y máxima de residuos separados al utilizar este equipo.

**Tabla 25.** Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ ) según caudal promedio, mínimo y máximo.

Caudal ( $m^3/d$ )		Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ )
Promedio	38,70	0,81
Mínimo	32,89	0,69
Máximo	44,51	0,93

Considerando una eficiencia de remoción de la DBO y de los SST del 15% en el efluente cloacal en el pretratamiento, dichos parámetros resultan de 283,05 mg/L y de 255 mg/L, respectivamente.

### 7.2.3. Sistema de tamices

Teniendo en cuenta el caudal promedio del efluente industrial, así como también, el caudal mínimo y máximo, se selecciona un tamiz estático de malla fina (rejilla de 0,15 mm). El mismo se describe en la sección 6.1.3.

Según Metcalf & Eddy (1995), la cantidad de residuos que se puede separar con un tamiz se encuentra entre 0,0375  $m^3$  y 0,225  $m^3$  cada 10  $m^3$  de efluente. Considerando un promedio de 0,13  $m^3$  de residuos, en la tabla 26, se muestra la cantidad mínima, promedio y máxima de residuos separados al utilizar este equipo.

**Tabla 26.** Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ ) según caudal promedio, mínimo y máximo.

Caudal ( $m^3/d$ )		Cantidad de residuos separados ( $m^3/d$ )
Promedio	548,00	7,12
Mínimo	465,80	6,06
Máximo	630,20	8,19

Considerando una eficiencia de remoción de la DBO y de los SST del 15% en el efluente industrial en el pretratamiento, dichos parámetros resultan de 5.015,00 mg/L y de 10.625,00 mg/L, respectivamente. Luego, mediante la relación DBO/DQO se puede obtener el valor de la DQO, el cual es de 9.095,00 mg/L.

#### 7.2.4. Tanque de compensación

##### 7.2.4.1. Dimensionamiento

Para determinar las dimensiones del tanque de compensación para el efluente industrial, se realiza una estimación del caudal generado por hora para un día de trabajo en la industria citrícola. Los datos se encuentran en la tabla IX del Anexo IV.

En primer lugar, al caudal medio en cada periodo horario se lo incrementa un 15%, el cual corresponde a la variación de la producción mencionada previamente. Luego, a dichos valores se los convierte a unidad de volumen con la ecuación (21).

$$V_{prom. \text{ para cada hora}} = Q_{prom. \text{ para cada hora}} * 1 \text{ hora} \quad (21)$$

Seguidamente, el volumen acumulado real en cada periodo se determina con la ecuación (22).

$$V_{acum. \text{ real en cada hora}} = V_{acum. \text{ en la hora anterior}} + V_{prom. \text{ para cada hora}} \quad (22)$$

El caudal promedio de salida del efluente es de 26,26  $m^3/h$ . El cual se calcula realizando el promedio del caudal que ingresa al tanque en cada periodo. Sabiendo que el volumen de salida es de 26,26  $m^3$ , el volumen acumulado promedio en cada hora se obtiene con la ecuación (23).

$$V_{acum. \text{ prom. en cada hora}} = V_{salida} + V_{salida \text{ en la hora anterior}} \quad (23)$$

A continuación, se grafica el volumen acumulado real vs el volumen acumulado promedio (figura 21). Calculando la diferencia mínima y máxima entre estas series de datos,

se obtiene el volumen del tanque ( $V_{\text{tanque}}$ ). Asimismo, a dicho resultado se le agrega un 20% del volumen como factor de seguridad (f). Esto se observa en la ecuación (24). El volumen de puesta a punto del tanque de compensación es de  $66,32 \text{ m}^3$ .

$$V_{\text{tanque}} = (|\Delta V_{\text{min}}| + \Delta V_{\text{max}}) * 1,20 \quad (24)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_{\text{tanque}} = (66,32 \text{ m}^3 + 60,95 \text{ m}^3) * 1,20 = 152,72 \text{ m}^3$$

Adoptando una altura (h) de 5,50 m y un diámetro (D) de 6,00 m para el tanque, con la ecuación (25) se calcula el volumen que finalmente tendrá el mismo ( $V_{\text{tanque}}^{\text{final}}$ ).

$$V_{\text{tanque}}^{\text{final}} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * h \quad (25)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

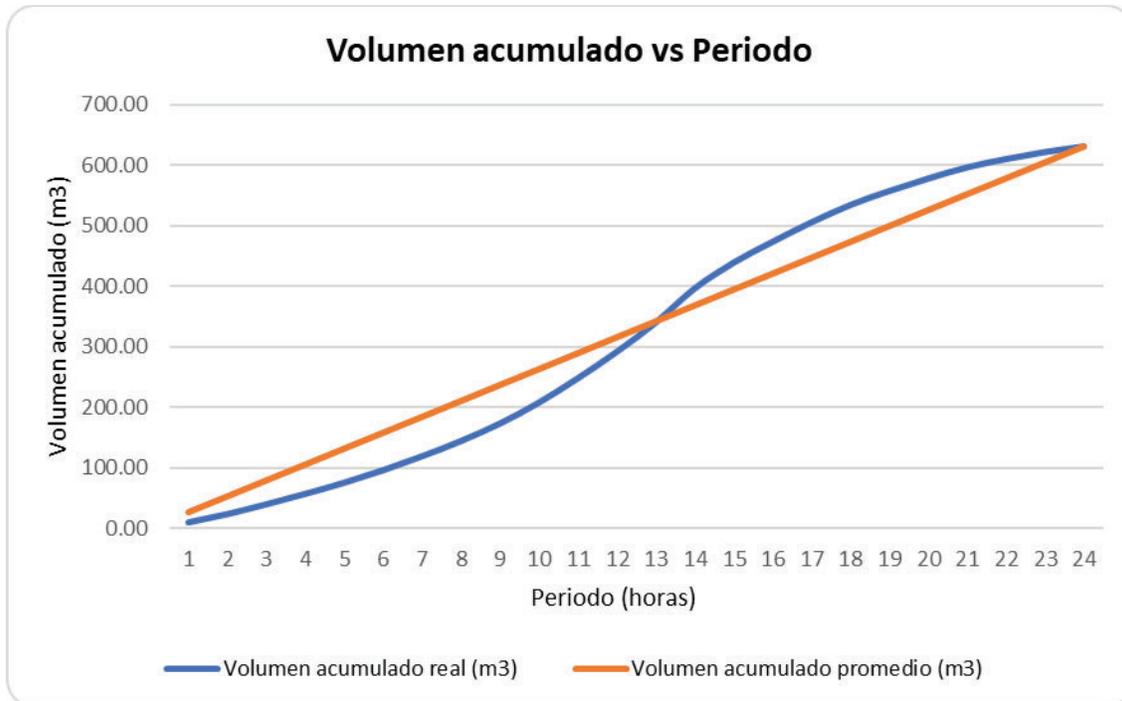
$$V_{\text{tanque}}^{\text{final}} = \pi * \left(\frac{6,00 \text{ m}}{2}\right)^2 * 5,50 \text{ m} = 155,51 \text{ m}^3$$

El área de la base del tanque ( $A_B$ ), se calcula con la ecuación (26).

$$A_B = \pi * r^2 \quad (26)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_B = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{3,00 \text{ m}}{2}\right)^2 = 28,00 \text{ m}^2$$



**Figura 21.** Volumen acumulado real (en color azul) vs volumen acumulado promedio (en color naranja) durante un día productivo. Fuente: elaboración propia.

#### 7.2.4.2. Sistema de aireación

Para el mezclado del efluente dentro del tanque de compensación, se opta por la colocación de un aireador mecánico que tiene una potencia de  $0,014 \text{ kW/m}^3$  y un difusor mecánico que cuenta con un caudal de aire de  $0,02 \text{ m}^3 \text{ aire/min.m}^3 \text{ reactor}$  (valores otorgados por la cátedra de la materia de Procesos Físicoquímicos en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín).

La potencia total necesaria del aireador ( $P_A$ ) se calcula a partir del volumen del tanque de compensación y con la potencia del aireador por metro cúbico, tal como lo describe la ecuación (27).

$$P_A = V_{\text{tanque}}^{\text{final}} * Pot_{\text{aireador}} \quad (27)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P_A = 155,51 \text{ m}^3 * 0,014 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3} = 2,18 \text{ kW}$$

Para el cálculo del caudal de aire total necesario ( $Q_{\text{aire}}^{\text{total}}$ ), se utiliza la ecuación (28).

$$Q_{aire}^{total} = V_{tanque}^{final} * Caudal\ de\ aire_{difusor\ mec.} \quad (28)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{aire}^{total} = 155,51\ m^3 * 0,02 \frac{m^3}{min\ m^3\ reactor} = 3,11 \frac{m^3}{min} = 186,60 \frac{m^3}{h}$$

A partir del caudal de diseño ( $Q_{diseño}$ ) de 10,00 m<sup>3</sup>/h para un difusor de burbuja gruesa según el catálogo de la empresa Repicky (s/f), se calcula la cantidad de difusores necesarios ( $n_{dif}$ ) siguiendo la ecuación (29).

$$n_{dif} = \frac{Caudal\ de\ aire_{total}}{Q_{diseño}} \quad (29)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$n_{dif} = \frac{186,60 \frac{m^3}{h}}{10,00 \frac{m^3}{h}} = 19$$

Repicky recomienda colocar de 0,50 a 3,00 difusores por metro cuadrado, por lo tanto, en este diseño se decide colocar 3 difusores por metro cuadrado. Teniendo esto en cuenta, el área mínima ( $A_M$ ) que corresponde a los difusores se obtiene dividiendo el área de la base del tanque de compensación (28,00 m<sup>2</sup>), por la cantidad elegida de difusores por m<sup>2</sup>, tal como se describe en la ecuación (30).

$$A_M = \frac{A}{Cantidad\ de\ difusores\ por\ m^2} \quad (30)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_M = \frac{28,00\ m^2}{3} = 9,00\ m^2$$

La densidad de difusores ( $\rho_{dif}$ ) se calcula según la ecuación (31).

$$\rho_{dif} = \frac{N^{\circ}\ de\ difusores}{A} \quad (31)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Densidad\ de\ difusores\ (dif/m^2) = \frac{19\ difusores}{28,00\ m^2} = 0,66\ dif/m^2$$

En la sección 6.1.4, se detalla el modelo elegido de soplador que trabaja como compresor, teniendo en cuenta el caudal de aire necesario y la altura del tanque de compensación, según el catálogo de Repicky (s/f).

### 7.3. Tratamiento primario

En esta sección, se detalla el cálculo realizado para el dimensionamiento de las unidades correspondientes al tratamiento primario del efluente citrícola.

#### 7.3.1 Coagulación

##### 7.3.1.1. Dimensionamiento

El caudal (Q) del efluente industrial que ingresa a la cámara de coagulación, es el proveniente del tanque de compensación, el cual es de 26,26 m<sup>3</sup>/h. A partir de dicho caudal y del tiempo de permanencia adoptado (T<sub>P</sub>) de 30 segundos, con la ecuación (32) se calcula el volumen que debe tener la cámara (V<sub>CC</sub>).

$$V_{CC} = Q * T_P \quad (32)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_{CC} = 26,26 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{60 min.} * \frac{1min}{60 seg.} * 30 seg. = 0,22 m^3$$

A partir de la ecuación (33), se puede calcular el volumen de un objeto con geometría cilíndrica. Considerando que el diámetro de la cámara (D<sub>CC</sub>) y su altura (H<sub>CC</sub>) tienen los mismos valores, se reordena dicha ecuación para determinar estos parámetros.

$$V = \pi * \frac{D_{CC}^2}{4} * H_{CC} \Rightarrow D_{CC} = H_{CC} = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}} \quad (33)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$D_{CC} = H_{CC} = \sqrt[3]{\frac{0,22m^3 \times 4}{\pi}} = 0,65 m$$

Para calcular el área (A<sub>CC</sub>) de la base de la cámara, se utiliza la ecuación (34).

$$A_{CC} = \pi * \frac{D_{CC}^2}{4} \quad (34)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{CC} = \pi * \frac{(0,65 \text{ m})^2}{4} = 0,34 \text{ m}^2$$

Para calcular el diámetro que debe tener la turbina de la cámara ( $D_T$ ), se adopta la siguiente relación (ecuación 35), ya que la misma debe encontrarse entre 2,70 y 3,30, según la información provista por la cátedra.

$$\frac{D_{CC}}{D_T} = 3,00 \quad (35)$$

Reordenando los términos de la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se obtiene:

$$D_T = \frac{D_{CC}}{3,00} = \frac{0,65 \text{ m}}{3,00} = 0,22 \text{ m}$$

La relación entre la altura de la cámara y el diámetro de la turbina debe encontrarse entre 2,70 y 3,90. Con el diámetro obtenido en la ecuación anterior, dicha relación resulta de 3,00, por lo tanto, cumple con la misma.

Para calcular la distancia al centro de cada una de las paletas de la turbina (B), se utiliza la expresión (36):

$$B = \frac{D_T}{4} \quad (36)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$B = \frac{0,22 \text{ m}}{4} = 0,05 \text{ m}$$

Para calcular el ancho de las paletas (W), se utiliza la ecuación (37).

$$W = \frac{D_T}{5} \quad (37)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$W = \frac{0,22 \text{ m}}{5} = 0,04 \text{ m}$$

Para calcular la distancia del tabique de la cámara (L), se utiliza la ecuación (38).

$$L = \frac{D_{CC}}{10} \quad (38)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$L = \frac{0,65 \text{ m}}{10} = 0,07 \text{ m}$$

Para conocer la distancia desde el fondo de la cámara hasta la paleta (h), se utiliza la siguiente relación (ecuación 39), ya que la misma debe encontrarse entre 0,75 y 1,30 según la información provista por la cátedra.

$$\frac{h}{D_T} = 1,00 \quad (39)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h = 1,00 * 0,22 \text{ m} = 0,22 \text{ m}$$

En la figura IV del Anexo IV, se describen las medidas de la cámara de coagulación que fueron calculadas en la presente sección.

#### 7.3.1.2. Equipo de mezcla

Para calcular la potencia disipada de las turbinas en régimen turbulento, se utiliza la ecuación (40). En donde se adopta un gradiente de velocidad (G) de 700,00 s<sup>-1</sup> y una viscosidad del agua (μ) de 0,001 kg/m.s (a 20°C).

$$P = \mu * V_{CC} * G^2 \quad (40)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m.s.}} * 0,22 \text{ m}^3 * (600 \text{ s}^{-1})^2 = 78,78 \text{ W}$$

Finalmente, para determinar la velocidad de rotación (n), se utiliza la ecuación (41). En donde el número de potencia (K) es de 5 para una turbina de seis paletas y la densidad del agua es de 998,00 kg/m<sup>3</sup> (a 20°C).

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D_T^5}} \quad (41)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$n = \sqrt[3]{\frac{78,78 \text{ W}}{5 * 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0,22 \text{ m})^5}} = 3,18 \text{ r. p. s.}$$

#### 7.3.1.3. Cantidad de coagulante necesario

Teniendo en cuenta la dosis de coagulante requerida cada 1000 mL de muestra de efluente y el caudal del mismo por día, como se indica en la ecuación (42), se puede calcular el volumen de coagulante necesario por día.

$$\text{Vol. coagulante por día} = Q * \text{dosis} \quad (42)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Vol. coagulante por día} = 630200,00 \frac{\text{L.ef}}{\text{día}} * 2,00 \frac{\text{mL coag.}}{\text{L.ef}} = 1260400 \text{ mL/día} = 1260,40 \text{ L/día}$$

Si al resultado obtenido (1260,40 L/día) se lo multiplica por 30 días, se puede conocer el volumen de coagulante necesario por mes para el tratamiento primario, obteniendo un valor de 37812,00 L/mes.

La concentración del cloruro férrico es de 40% m/v, por lo tanto, se tiene 40 gramos de coagulante en 100 mL de solución. Con este dato, se puede calcular la masa necesaria de este compuesto, tal como se indica en la ecuación (43).

$$\text{Masa de coagulante por día} = \frac{40 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * \text{Vol. coagulante por día} \quad (43)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Masa de coagulante por día} = \frac{40 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * 1260400 \frac{\text{mL}}{\text{día}} = 504160 \text{ gr/día} = 504,20 \text{ kg/día}$$

Si al resultado obtenido (504,20 kg/día) se lo multiplica por 30 días, se puede conocer la masa de coagulante necesaria por mes para el tratamiento primario, obteniendo un valor de 15124,80 kg/mes.

#### 7.3.1.4. Cantidad de corrector de pH necesario

Teniendo en cuenta la dosis del corrector de pH requerida cada 1000 mL de muestra de efluente y el caudal del mismo por día, como se indica en la ecuación (44), se puede calcular el volumen del corrector de pH necesario por día.

$$\text{Vol. corrector de pH por día} = Q * \text{dosis} \quad (44)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Vol. corrector de pH por día} = 630200,00 \frac{\text{L.ef}}{\text{día}} * 2,5 \frac{\text{mL corr.}}{\text{L.ef}} = 1575500 \text{ mL/día} = 1575,50 \text{ L/día}$$

Si al valor anterior (1575,50 L/día) se lo multiplica por 30 días, se puede conocer el volumen de corrector de pH necesario por mes para el tratamiento primario, obteniendo un valor de 47265 L/mes.

La concentración del hidróxido de sodio corresponde a 10% m/v, por lo tanto, se tiene 10 gramos de corrector de pH en 100 mL de solución. Con este dato, se puede calcular la masa necesaria de este compuesto, tal como se indica en la ecuación (45).

$$\text{Masa de corrector de pH por día} = \frac{10 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * \text{Vol. corrector de pH por día} \quad (45)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Masa de corrector de pH por día} = \frac{10 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * 1575500 \frac{\text{mL}}{\text{día}} = 157550 \text{ gr/día} = 157,55 \text{ kg/día}$$

Si al resultado obtenido (157,55 kg/día) se lo multiplica por 30 días, se puede conocer la masa de coagulante necesaria por mes para el tratamiento primario, obteniendo un valor de 4726,50 kg/mes.

### 7.3.2. Floculación

#### 7.3.2.1. Dimensionamiento

El caudal (Q) del efluente industrial que ingresa a la cámara de floculación es de 26,26 m<sup>3</sup>/h. A partir de dicho caudal y del tiempo de permanencia adoptado (T<sub>p</sub>) de 25 minutos, con la ecuación (32) se calcula el volumen que debe tener la cámara (V<sub>CF</sub>), el cual resulta de 10,94 m<sup>3</sup>.

Luego, con la ecuación (33), se calcula el diámetro (D<sub>CF</sub>) y la altura (H<sub>CF</sub>) de la cámara de floculación, obteniendo como resultado para ambos parámetros, 2,30 m. Con la ecuación (34) se calcula el área (A<sub>CF</sub>) de la base de la cámara, siendo el mismo de 4,00 m<sup>2</sup>.

Para calcular el diámetro que debe tener la turbina de la cámara (D<sub>T</sub>), se adopta la siguiente relación (ecuación 46), ya que la misma debe encontrarse entre 2,00 y 6,60, según la información provista por la cátedra.

$$\frac{D_{CF}}{D_T} = 3,00 \quad (46)$$

Reordenando la ecuación anterior, se obtiene:

$$D_T = \frac{2,30 \text{ m}}{3,00} = 0,75 \text{ m}$$

La relación entre la altura de la cámara y el diámetro de la turbina debe encontrarse entre 2,70 y 3,90. Con el diámetro obtenido en la ecuación anterior, dicha relación resulta de 3,00, por lo tanto, cumple con la misma.

El parámetro B se obtiene con la ecuación (32), resultando en un valor de 0,20 m. Mientras que, los parámetros W y L, se calculan con las ecuaciones (47) y (48), respectivamente.

$$W = \frac{D_T}{8} \quad (47)$$

$$L = \frac{D_{CF}}{12} \quad (48)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$W = \frac{0,75 \text{ m}}{8} = 0,09 \text{ m}$$

$$L = \frac{2,30 \text{ m}}{12} = 0,19 \text{ m}$$

Para conocer la distancia desde el fondo de la cámara hasta la paleta (h), se utiliza la siguiente relación (ecuación 49), ya que la misma debe encontrarse entre 0.90 y 1.10, según la información provista por la cátedra.

$$\frac{h}{D_T} = 1,00 \quad (49)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h = 1,00 * 0,75 \text{ m} = 0,75 \text{ m}$$

#### 7.3.2.2. Equipo de mezcla

La potencia disipada de las turbinas en régimen turbulento calculada con la ecuación (36), resulta de 70,02 W, con un gradiente de velocidad de  $80 \text{ s}^{-1}$ . Finalmente, utilizando la ecuación (41) se obtiene el valor de la velocidad de rotación. El mismo resulta de 0,70 r.p.s., con un número de potencia de 0,75 para una turbina de cuatro paletas.

#### 7.3.2.3. Cantidad de floculante necesario

Debido a que la dosis de floculante requerida cada 1000 mL de muestra del efluente es la misma que la correspondiente al coagulante, el volumen del floculante necesario de forma diaria y mensual será la misma que la de este último.

La concentración de Praestol 853 corresponde a 0,30% m/v, por lo tanto, se tiene 0,30 gramos de floculante en 100 mL de solución. Con este dato, se puede calcular la masa necesaria de este compuesto, tal como se indica en la ecuación (50).

$$\text{Masa de floculante por día} = \frac{0,30 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * \text{Vol. floculante por día} \quad (50)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Masa de floculante por día} = \frac{0,30 \text{ gr}}{100 \text{ mL}} * 1260400 \frac{\text{mL}}{\text{día}} = 3781,20 \text{ gr/día} = 3,78 \text{ kg/día}$$

Si al valor anterior (3,78 kg/día) se lo multiplica por 30 días, se puede conocer la masa de coagulante necesaria por mes para el tratamiento primario, obteniendo un valor de 113,44 kg/mes.

### 7.3.3. Flotación por aire disuelto (DAF)

#### 7.3.3.1. Dimensionamiento

Para realizar el dimensionamiento de esta unidad, se debe determinar la relación aire-sólidos (A/S) requerida para lograr la clarificación del efluente. Este parámetro se obtiene a través de un ensayo de laboratorio, sin embargo, para este proyecto, se adopta un valor dentro del rango recomendado por Metcalf & Eddy (1995), el cual es de 0,005 a 0,06. Asimismo, la expresión de dicha relación es la correspondiente a la ecuación (51), con ella, se obtiene la presión de trabajo (P) de la unidad.

$$A/S = \frac{\gamma_{\text{aire}} * S_a * (f * P - 1) * R}{SST * Q} \quad (51)$$

En donde, el peso específico del aire ( $\gamma_{\text{aire}}$ ) es 1,30 mg/cm<sup>3</sup> y la solubilidad del aire en agua a presión atmosférica y a 20°C es de 18,70 cm<sup>3</sup>/L. Según los valores recomendados por Metcalf & Eddy (1995), se adopta una fracción de aire en la presión de trabajo es de 0,70 (rango recomendado 0,50 a 0,90) y un porcentaje de recirculación del 60% (rango recomendado 15 a 120%). El caudal (Q) que ingresa a la unidad es de 26,26 m<sup>3</sup>/h (equivalente a 0,007 m<sup>3</sup>/s) y la concentración de SST que ingresa al sistema DAF es de aproximadamente 800 mg/L.

Reordenando los términos de la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P = \frac{A/S * SST * Q}{1.30 * S_a * R * f} + 1 = \frac{0.03 * 800 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.30 * 18.70 \frac{\text{cm}^3}{\text{L}} * (0.60 * 0.007 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) * 0.70} + 1 = 3,35 \text{ atm}$$

La presión de trabajo obtenida se encuentra dentro del rango de valores recomendado por el autor mencionado previamente, el cual es de 2,71 a 3,45 atm.

Para calcular el caudal total que debe soportar la cámara de flotación ( $Q_T$ ), se realiza la suma del caudal que ingresa a la cámara inicialmente ( $Q$ ) y del caudal de recirculación ( $R$ ), tal como se expresa en la ecuación (52).

$$Q_T = Q + R \quad (52)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_T = 0,44 \frac{m^3}{min} + 0,26 \frac{m^3}{min} = 0,70 \frac{m^3}{min}$$

El volumen de la cámara se calcula con la ecuación (53), teniendo en cuenta, el caudal total y el tiempo de retención hidráulica del mismo en dicha cámara ( $t_r$ ), para el cual se adopta un valor de 15 minutos (rango recomendado por el autor mencionado, 1 a 15 minutos).

$$V = Q_T * t_r \quad (53)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = 0,70 \frac{m^3}{min} * 15 min = 10,50 m^3$$

El área superficial de la cámara ( $A_{sup}$ ) se calcula con la ecuación (54), a partir del caudal total y de la carga superficial ( $C_s$ ). Para este último parámetro se adopta un valor de  $0,10 m^3/m^2.min$  (rango recomendado por el autor mencionado,  $0,008$  a  $0,16 m^3/m^2.min$ ).

$$A_{sup} = \frac{Q_T}{C_s} \quad (54)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{sup} = \frac{0,70 \frac{m^3}{min}}{0,10 \frac{m^3}{m^2.min}} = 7,00 m^2$$

La ecuación (55) indica que el tiempo de retención hidráulica es dependiente de la altura de la cámara ( $h$ ), del área superficial y del caudal.

$$t_r = \frac{A_{sup} * h}{Q_t} \quad (55)$$

Reordenando los términos de la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se puede calcular la altura de la cámara (h).

$$h = \frac{t_r * Q_T}{A_{sup}} = \frac{15 \text{ min} * 0,70 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{7,00 \text{ m}^2} = 1,50 \text{ m}$$

Para calcular el volumen de la cámara de presurización ( $V_{pres.}$ ), se utiliza la ecuación (53), teniendo en cuenta el caudal de recirculación (R).

$$V_{pres.} = 0,26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 15 \text{ min} = 3,94 \text{ m}^3$$

Se adoptó una altura de 2,75 m ( $h_{pres.}$ ) para el tanque de presurización. La superficie del mismo ( $A_{pres.}$ ) se calcula con la ecuación (56).

$$A_{pres.} = \frac{V_{pres.}}{h_{pres.}} \quad (56)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{pres.} = \frac{1,31 \text{ m}^3}{2,75 \text{ m}} = 1,40 \text{ m}^2$$

### 7.3.3.2. Producción de lodos

Para calcular el volumen de lodos generado por día que posteriormente se deben tratar y disponer, se utiliza la ecuación (57). Se adopta una generación de 0,20 L de barro cada 1 L de efluente empleando cloruro férrico (15% m/v) como coagulante.

$$\frac{\text{Volumen lodos}}{\text{dia}} = \frac{\text{Vol de lodo}}{\text{Vol de efluente}} * Q_{crudo} * 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{dia}} \quad (57)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\frac{\text{Volumen lodos}}{\text{dia}} = 0,20 \frac{L_{lodo}}{L_{efluente}} * 438 \frac{L_{efluente}}{\text{min}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} = 126040,00 \frac{L_{lodo}}{\text{dia}}$$

Si al resultado anterior se lo multiplica por 30 días, se obtiene el volumen de lodo generado por mes, el cual es de 3781200 L/mes.

Sabiendo que la densidad del lodo es de 1,02 g/cm<sup>3</sup> o 1,02 kg/L aproximadamente, se puede calcular la masa de lodo generado por día, según la ecuación (58).

$$\text{Densidad}_{lodo} = \frac{\text{Masa}_{lodo}^{dia}}{\text{Volumen}_{lodo}^{dia}} \quad (58)$$

Reemplazando por los valores correspondientes, se tiene:

$$Masa_{lodo}^{\text{día}} = 126040,00 \frac{L_{lodo}}{\text{día}} * 1,02 \frac{kg}{L} = 128560,80 \frac{kg}{\text{día}}$$

Si al resultado anterior se lo multiplica por 30 días, se puede obtener la masa de lodo generado en un mes, obteniendo un valor de 3.856.824 kg/mes.

#### 7.3.3.3. Sistema de aireación

Para determinar los parámetros necesarios para la elección del soplador y la cantidad de difusores que se deben colocar en el tanque del sistema DAF, se aplican las ecuaciones (27) a (31) descritas previamente. En la sección 6.2.3, se detallan los resultados obtenidos, así como también, se indica el modelo elegido de soplador que trabaja como compresor, teniendo en cuenta el caudal de aire necesario y la altura de la cámara DAF, según el catálogo de Repicky (s/f).

### 7.4. Tanque de compensación

#### 7.4.1. Dimensionamiento

En el caso de la alternativa A, una vez realizado el tratamiento primario del efluente industrial, el mismo se unifica con el efluente cloacal de la planta. Dado que el efluente industrial proviene de un tanque de compensación, el caudal de esta línea (26,26 m<sup>3</sup>/h) ingresa a la unidad de manera constante. Por otro lado, el caudal horario promedio del efluente cloacal es de 1,61 m<sup>3</sup>/h.

A partir de estos valores, se obtiene un caudal total de ingreso al tanque de compensación de 27,87 m<sup>3</sup>/h. Teniendo en cuenta que, los volúmenes de ingreso de ambas líneas son constantes a lo largo de la jornada, no habrá acumulación en dicho tanque, por lo tanto, el volumen que egresa de la unidad es igual al entrante.

El volumen del tanque se calcula aplicando la ecuación (25), en donde se adopta una altura (h) de 4,00 m y un diámetro (D) de 3,50 m. Como resultado, se obtiene que el volumen del tanque es de 38,48 m<sup>3</sup>. Luego, el área de la base del tanque se calcula con la ecuación (26), dando como resultado un área de 10 m<sup>2</sup>.

#### 7.4.2. Sistema de aireación

Para determinar los parámetros necesarios para la elección del soplador y la cantidad de difusores que se deben colocar en el tanque de compensación, se aplican las ecuaciones (27 a (31) descritas previamente. En la sección 6.3, se detallan los resultados

obtenidos, así como también, se indica el modelo elegido de soplador que trabaja como compresor, teniendo en cuenta el caudal de aire necesario y la potencia del aireador requerida, según el catálogo de Repicky (s/f).

## 7.5. Tratamiento secundario (Alternativa A)

### 7.5.1. Reactor UASB

#### 7.5.1.1. Dimensionamiento

El caudal (Q) que ingresa al reactor UASB es de 668,90 m<sup>3</sup>/d o 27,87 m<sup>3</sup>/h (se considera el caudal máximo del efluente industrial junto con el caudal medio del efluente cloacal).

La DBO del efluente que se incorpora a la unidad se calcula mediante la ecuación (59). Considerando una eficiencia de remoción del 40% en la DBO y DQO a la salida del tratamiento primario, los mismos resultan de 3009 mg/L y 5457 mg/L, respectivamente.

$$DBO_{entrada} = \frac{(Q_{industrial}^{max, diario} * DBO_{ind}) + (Q_{cloacal}^{medio} * DBO_{cloacal})}{Q_{industrial}^{max, diario} + Q_{cloacal}^{medio, diario}} \quad (59)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$DBO_{entrada} = \frac{(630,20 \frac{m^3}{d} * 3009 \frac{mg}{L}) + (38,70 \frac{m^3}{d} * 333,33 \frac{mg}{L})}{630,20 \frac{m^3}{d} + 38,70 \frac{m^3}{d}} = 2854,20 \frac{mg}{L}$$

La carga orgánica (CO) del efluente se encuentra definida por la ecuación (60). En donde el parámetro (Q<sub>Total</sub>) es la sumatoria del caudal del efluente industrial y el cloacal.

$$CO = Q * DQO_{entrada} \quad (60)$$

Reemplazando los valores correspondientes, y teniendo en cuenta los factores de conversión necesarios para obtener el resultado en kg/día, se tiene:

$$CO = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * (5457 \frac{mg}{L} * 1000)}{10^6} = 3650,19 \frac{kg}{d}$$

Según la Tabla X del Anexo IV, brindada por la cátedra de "Diseño de sistemas de tratamientos biológicos para efluentes líquidos" para una temperatura del efluente de 26°C, se adopta un tiempo de retención hidráulica (θ) de 6 horas. Al multiplicar dicho parámetro por el caudal que ingresa a la unidad, se obtiene el volumen del reactor (V), tal como se indica en la ecuación (61).

$$V = Q * \theta \quad (61)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = 27,87 \frac{m^3}{h} * 6 h = 167,23 m^3$$

Se plantea el uso de un reactor rectangular con un volumen de 167,23 m<sup>3</sup>. Se adopta una altura de sedimentación ( $h_{sed}$ ) de 1,50 m y una altura de decantación ( $h_{dec}$ ) de 2,50 m. Por ende, la altura total del reactor ( $h_{tot}$ ) es de 4,00 m. El área total del reactor ( $A_{tot}$ ) se obtiene mediante la ecuación (62).

$$A_{tot} = \frac{V}{h_{tot}} \quad (62)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{tot} = \frac{167,23 m^3}{4,00 m} = 41,81 m^2$$

Para facilitar la construcción del reactor, se considera un área total de 42,75 m<sup>2</sup>, cuyas dimensiones son de 9,50 m x 4,50 m.

A continuación, se realiza una serie de verificaciones que se deben cumplir para un adecuado funcionamiento del reactor UASB.

La carga hidráulica volumétrica ( $CH_V$ ) se obtiene con la ecuación (63). La misma debe ser menor que 5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d.

$$CH_V = \frac{Q}{V} \quad (63)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CH_V = \frac{668,90 \frac{m^3}{d}}{167,23 m^3} = 4,00 \frac{m^3}{m^3 \cdot d}$$

La carga orgánica volumétrica ( $CO_V$ ) se calcula con la ecuación (64). Este parámetro debe encontrarse entre 15,00 a 45,00 kg DQO/m<sup>3</sup>.d.

$$CO_V = \frac{Q * DQO}{V} \quad (64)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$COV = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * 5457 \frac{mg}{L}}{167,23 m^3} = 21,83 \frac{kg DQO}{m^3 \cdot d}$$

La velocidad media ascensional del flujo ( $V_{med}$ ) se obtiene con la ecuación (65), y la misma debe encontrarse entre 0,50 a 0,70 m/h.

$$V_{med} = \frac{Q}{A_{tot}} \quad (65)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_{med} = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * \frac{1 d}{24 h}}{45 m^2} = 0,62 \frac{m}{h}$$

La cantidad de tubos del sistema de distribución del efluente en el reactor se obtiene con la ecuación (66), en donde se adopta un área de influencia ( $A_d$ ) cada tubo de 2,25 m<sup>2</sup>.

$$N_d = \frac{A_{tot}}{A_d} \quad (66)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$N_d = \frac{45 m^2}{2,25 m^2 / tubo} = 20 \text{ tubos}$$

#### 7.5.1.2. Eficiencias de remoción de DQO y DBO

Para conocer la eficiencia de remoción de los parámetros DQO y DBO con el uso del reactor UASB, se emplean las ecuaciones (67) y (68).

$$E_{DQO} = 100 * \left( 1 - 0,68 * \theta_{[h]}^{-0,35} \right) \quad (67)$$

$$E_{DBO} = 100 * \left( 1 - 0,70 * \theta_{[h]}^{-0,50} \right) \quad (68)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$E_{DQO} = 100 * \left( 1 - 0,68 * (6 h)^{-0,35} \right) = 63,68 \%$$

$$E_{DBO} = 100 * \left( 1 - 0,70 * (6 h)^{-0,50} \right) = 71,42 \%$$

Con los resultados obtenidos y conociendo los valores de los parámetros DQO y DBO de entrada al reactor, se puede calcular los valores de dichos parámetros a la salida de la unidad, siendo los mismos de 1982,03 mg/L y 815,66 mg/L, respectivamente.

### 7.5.1.3. Producción de biogás

A continuación, se realiza una estimación de la generación de biogás con el uso del reactor UASB, el cual se necesita posteriormente para dimensionar el separador trifásico (campana) de la unidad.

Partiendo de la ecuación (69), se calcula la carga de DQO que es convertida en metano ( $DQO_{CH_4}$ ). Este proceso depende del coeficiente de producción de sólidos en el reactor ( $Y_{obs}$ ), para el cual se adopta un valor de 0,21 kg DQO lodo/kg DQO aplicado.

$$DQO_{CH_4} = \frac{Q_{med} * (DQO_{entrada} - DQO_{salida})}{1000} - \frac{Y_{obs} * Q_{med} * DQO_{entrada}}{1000} \quad (69)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$DQO_{CH_4} = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * (5457,00 - 1982,03) \frac{mg}{L}}{1000} - \frac{0,21 \frac{kg DQO lodo}{kg DQO aplicado} * 668,90 \frac{m^3}{d} * 5457,00 \frac{mg}{L}}{1000} = 1557,87 \frac{kg DQO}{d}$$

El caudal generado de metano ( $Q_{CH_4}$ ) se obtiene mediante la ecuación (70). El mismo depende de un factor de corrección por temperatura  $F(T)$  el cual se calcula aplicando la ecuación (71).

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{F(T)} \quad (70)$$

$$F(T) = \frac{P * DQO}{R * (273 + T)} \quad (71)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{CH_4} = \frac{1557,87 \frac{kg DQO}{d}}{2,64 \frac{kg DQO}{m^3}} = 596,81 \frac{m^3}{d}$$

$$F(T) = \frac{1 \text{ atm} * 64 \frac{g DQO}{mol CH_4}}{0,082 \frac{L atm}{mol K} * (273 + 26)^{\circ C}} = 2,64 \frac{kg DQO}{m^3}$$

Por último, el caudal total de biogás generado se obtiene con la ecuación (72), en donde se considera que el mismo está compuesto por un 75% de metano aproximadamente.

$$Q_{\text{Biogás}} = \frac{Q_{\text{CHA}}}{0,75} \quad (72)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{\text{Biogás}} = \frac{596,81 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{0,75} = 795,75 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

#### 7.5.1.4. Dimensionamiento del separador trifásico

El separador trifásico o campana debe contar con una tasa de liberación de biogás ( $K_g$ ) entre 1 a 5  $\text{m}^3 \text{ gas}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ . En este caso, para dicho parámetro se adopta un valor de 5,00  $\text{m}^3 \text{ gas}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ . En la ecuación (73) se observa la relación entre este parámetro, el caudal de biogás y el área de captación del gas ( $A_i$ ).

$$K_g = \frac{Q_{\text{biogás}}}{A_i} \quad (73)$$

Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_i = \frac{795,75 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}}{5,00 \frac{\text{m}^3 \text{ gas}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}} = 6,63 \text{ m}^2$$

Conociendo que el reactor es rectangular y que, en principio, cuenta con una campana, se divide el área de captación de gas, por el ancho mínimo de la campana ( $A_c$ ), el cual es de 0,25 m, para obtener el largo que debe tener la campana ( $L_c$ ). Esto se detalla en la ecuación (74).

$$L_c = \frac{A_i}{A_c} \quad (74)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$L_c = \frac{6,63 \text{ m}^2}{0,25 \text{ m}} = 26,52 \text{ m}$$

Debido a que el valor obtenido del largo de la campana es elevado para su construcción, se lo divide por cuatro, resultando así, en un valor de 6,63 m ( $L_{c, \text{unidad}}$ ). De esta manera, se plantea el uso de un reactor con cuatro campanas, para cumplir con el valor que debe tener el largo de la campana y asegurar una correcta extracción del biogás generado. Las dimensiones del reactor serán de 9,50 m x 4,50 m (b x c), de tal forma de contar con un área de 42,75  $\text{m}^2$ .

Luego, con la ecuación (y19) se calcula el largo y alto de la pared inclinada de la campana ( $r$ ), en donde el ancho del deflector ( $a$ ) es igual a 0,35 m, para poder obtener la pendiente de la campana mediante la ecuación (75).

$$\frac{L_c}{4} = b - 2 * a - 2 * r \quad (75)$$

Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$r = \frac{\frac{L_c}{4} - 9,50 \text{ m} + (2 * 0,35 \text{ m})}{-2} = 1,08 \text{ m}$$

Con la ecuación (76) se calcula la pendiente de la campana, la cual debe encontrarse entre 50 a 60°.

$$tg = \frac{h_{sed}}{r} \quad (76)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\tan(\alpha) = \frac{1,50 \text{ m}}{1,08 \text{ m}} = 1,38$$

$$\alpha = \text{arc tan}(1,38) = 54,10^\circ$$

El área de paso o área libre de la campana ( $A_p$ ) se calcula con la ecuación (77).

$$A_p = (b * c) - ((c - 2 * a) * (b - 2 * a)) \quad (77)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_p = (9,50 \text{ m} * 4,50 \text{ m}) - ((4,50 \text{ m} - (2 * 0,35 \text{ m})) * (9,50 \text{ m} - (2 * 0,35 \text{ m}))) = 43,08 \text{ m}^2$$

Por último, con la ecuación (78) se verifica la velocidad media de paso, la cual debe ser menor a 2,50 m/h.

$$V_p^{media} = \frac{Q}{A_p} \quad (78)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_p^{media} = \frac{668,90 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}}{43,08 \text{ m}^2} = 0,65 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

En la Figura V del Anexo IV se muestra un diagrama del dimensionamiento del reactor con el separador trifásico, en donde se pueden observar los parámetros calculados en la presente sección.

## 7.5.2. Reactor de lodos activados

### 7.5.2.1. Dimensionamiento

En esta sección, se realiza el dimensionamiento del reactor del sistema de lodos activados, el cual se corresponde con un reactor de mezcla completa. Esto significa que la materia entrante es mezclada de manera instantánea y homogénea dentro del reactor, con lo cual se asume que, la concentración en el interior del reactor es igual a la concentración de salida. Además, para el dimensionamiento del sistema se utiliza la cinética de Monod, en donde se plantea que, la tasa de crecimiento microbiano ( $\mu$ ) es proporcional a la concentración de sustrato (S) disponible en el medio de cultivo. A medida que este parámetro aumenta, también lo hace la tasa de crecimiento, hasta alcanzar un punto de saturación en el cual la tasa de crecimiento se estabiliza.

Para comenzar, se realiza el balance de biomasa en el sistema total (ecuación 79), es decir, considerando el reactor y el sedimentador secundario.

$$\frac{VdX}{dt} = Q_0X_0 - Q_SX_S - Q_PX_P + Vr_X \quad (79)$$

En donde:

- ❖ V = Volumen del reactor.
- ❖ dX/dt = Tasa de cambio de la concentración de biomasa en el tiempo.
- ❖ Q<sub>0</sub> = Caudal de entrada al reactor (668,90 m<sup>3</sup>/d).
- ❖ X<sub>0</sub> = Concentración inicial de microorganismos (mg/L).
- ❖ Q<sub>S</sub> = Caudal de salida del reactor (m<sup>3</sup>/d).
- ❖ X<sub>S</sub> = Concentración de salida de los microorganismos (mg/L).
- ❖ Q<sub>P</sub> = Caudal de purga del reactor (m<sup>3</sup>/d).
- ❖ X<sub>P</sub> = Concentración de purga de los microorganismos (18000 mg/L). Se adopta la relación 3\*X.
- ❖ r<sub>X</sub> = Tasa de crecimiento de los microorganismos (ecuación 80).

$$r_X = \left( \frac{\mu_{max} X S}{K_S + S} - K_d X \right) \quad (80)$$

En donde:

- ❖  $\mu_{\max}$  = Tasa máxima de crecimiento específico. Valor típico adoptado:  $1,15 \text{ d}^{-1}$ .
- ❖  $X$  = Concentración de microorganismos en el reactor. Debe encontrarse entre 3000 y 6000 mg/L. Valor adoptado: 6000 mg/L.
- ❖  $S$  = Concentración del sustrato a la salida del sistema. Debe ser menor a 50 mg/L. Valor adoptado: 30 mg/L.
- ❖  $K_S$  = Coeficiente de saturación media (mg/L). Valor adoptado: 150 mg/L.
- ❖  $K_d$  = Coeficiente de descomposición endógena ( $\text{d}^{-1}$ ). Debe encontrarse entre 0,04 y  $0,075 \text{ d}^{-1}$ . Valor adoptado:  $0,06 \text{ d}^{-1}$ .

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (80), se tiene:

$$r_X = \left( \frac{1,15 \text{ d}^{-1} * 6000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 30 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{(150+30) \frac{\text{mg}}{\text{L}}} - \left( 0,06 \text{ d}^{-1} * 6000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \right) = 790,00 \frac{\text{mg}}{\text{L.d}}$$

Suponiendo que el reactor se encuentra en estado estacionario ( $dX/dt = 0$ ), que hay una buena separación en el sedimentador ( $X_S = 0$ ) y que el efluente es estéril ( $X_0 = 0$ ), se obtiene lo expresado en la ecuación (81).

$$\frac{Q_p X_p}{VX} = \frac{\mu_{\max} S}{K_S + S} - K_d \quad (81)$$

Luego, se realiza el balance de sustrato en el sistema total (ecuación 82).

$$\frac{VdS}{dt} = Q_0 S_0 - Q_S S - Q_P S - Vr_{su} \quad (82)$$

En donde:

- ❖  $dS/dt$  = Tasa de cambio de la concentración de sustrato en el tiempo.
- ❖  $S_0$  = Concentración inicial de sustrato (815,66 mg/L).
- ❖  $Y$  = Cantidad de biomasa producida por unidad de sustrato consumido durante el proceso de crecimiento microbiano. Debe encontrarse entre 0,40 y 0,80 kg SSV/kg DBO. Valor adoptado: 0,40 kg SSV/kg DBO.
- ❖  $r_{su}$  = Tasa de utilización de sustrato (ecuación 83).

$$r_{su} = \frac{\mu_{\max} X S}{Y(K_S + S)} \quad (83)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$r_{su} = \frac{1,15 \text{ d}^{-1} * 6000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 30 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,40 \frac{\text{kg SSV}}{\text{kg DBO}} * (150+30) \frac{\text{mg}}{\text{L}}} = 2875 \frac{\text{mg}}{\text{L.d}}$$

Por último, se realiza el balance de caudales en el sistema total (ecuación 84).

$$Q_0 = Q_S + Q_P \quad (84)$$

Sustituyendo la ecuación (84) en la ecuación (82) y suponiendo estado estacionario, se obtiene la expresión (85), con la cual se puede conocer el volumen del reactor.

$$V = \frac{Q_0(S_0 - S)}{r_{su}} \quad (85)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * (815,66 - 30) \frac{mg}{L}}{2875 \frac{mg}{L \cdot d}} = 182,79 m^3$$

El área del reactor (A) se obtiene con la ecuación (86), en donde se adopta una altura (h) de 6 m para el mismo.

$$A = \frac{V}{h} \quad (86)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A = \frac{182,79 m^3}{6 m} = 30,47 m^2$$

Sustituyendo la ecuación (85) en la ecuación (81), se obtiene la expresión (87), con la cual se puede conocer el caudal de purga.

$$Q_P = r_X * \frac{V}{X_p} \quad (87)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_P = 790,00 \frac{mg}{L \cdot d} * \frac{182,79 m^3}{3 * 6000 \frac{mg}{L}} = 8,02 \frac{m^3}{d}$$

El caudal de salida del reactor se obtiene reordenando la expresión (84), tal como se muestra en la ecuación (88).

$$Q_S = Q_0 - Q_P \quad (88)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_S = 668,90 \frac{m^3}{d} - 8,02 \frac{m^3}{d} = 660,88 \frac{m^3}{d}$$

El caudal de reciclo ( $Q_r$ ) se determina planteando un balance de biomasa en el sedimentador secundario (ecuación 89).

$$V \frac{dX}{dt} = (Q_0 + Q_r)X - Q_S X_S - (Q_P + Q_r)X_r \quad (89)$$

En donde:

- ❖  $X_r$  = Concentración de microorganismos en el reciclo (18000 mg/L). Se adopta la relación  $3 \cdot X$ .

En la ecuación anterior se realizan las siguientes suposiciones: el sedimentador se encuentra en estado estacionario ( $dX/dt = 0$ ) y la estabilización de la materia orgánica se produce únicamente en el reactor ( $X_s = 0$ ). Reordenando los términos, se obtiene la expresión (90).

$$Q_r = \frac{Q_0 X - Q_P X_r}{X_r - X} \quad (90)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_r = \frac{\left(668,90 \frac{m^3}{d} * 6000 \frac{mg}{L}\right) - \left(8,02 \frac{m^3}{d} * 18000 \frac{mg}{L}\right)}{(18000 - 6000) \frac{mg}{L}} = 322,42 \frac{m^3}{d}$$

A continuación, se realiza una serie de verificaciones que se deben cumplir para un adecuado funcionamiento del reactor de lodos activados.

El tiempo de retención hidráulico ( $\theta$ ) se calcula con la ecuación (91). Este parámetro debe encontrarse entre 3 a 5 horas.

$$\theta = \frac{V}{Q_0} \quad (91)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\theta = \frac{182,79 m^3}{668,90 \frac{m^3}{d} * \frac{1 d}{24 h}} = 6,56 h$$

La relación alimento - microorganismo (F/M) se obtiene con la ecuación (92). La misma debe encontrarse entre 0,20 a 0,60  $d^{-1}$ .

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_0 S_0}{V X} \quad (92)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\frac{F}{M} = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * 815,66 \frac{mg}{L}}{182,79 m^3 * 6000 \frac{mg}{L}} = 0,50 d^{-1}$$

La carga volumétrica ( $C_V$ ) se calcula con la ecuación (93). Este parámetro debe encontrarse entre 0,80 a 2,00 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d.

$$C_V = \frac{Q_0 S_0}{V} \quad (93)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$C_V = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * 815,66 \frac{mg}{L}}{182,79 m^3 * 1000} = 2,98 \frac{kg}{m^3 \cdot d}$$

Por último, el tiempo de retención celular ( $\theta_C$ ), se obtiene con la ecuación (94). El mismo debe encontrarse entre 5 a 15 días.

$$\theta_C = \frac{VX}{Q_p X_p} \quad (94)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\theta_C = \frac{182,79 m^3 * 6000 \frac{mg}{L}}{8,02 \frac{m^3}{d} * 18000 \frac{mg}{L}} = 7,59 d$$

#### 7.5.2.2. Producción de lodos

Para calcular la cantidad de lodos generados en el reactor ( $P_X$ ), se debe obtener el valor del coeficiente de generación de lodos ( $Y_{OBS}$ ) con la ecuación (95). Se adopta una constante de descomposición endógena ( $K_d$ ) de 0,06 d<sup>-1</sup>.

$$Y_{OBS} = \frac{Y}{1 + K_d * \theta_C} \quad (95)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Y_{OBS} = \frac{0,40 \frac{kg SSV}{kg DBO}}{1 + (0,06 d^{-1} * 7,59 d)} = 0,27 \frac{kg SSV}{kg DBO}$$

Luego, con el parámetro anterior calculado, se calcula la producción de lodos con la ecuación (96).

$$P_X = \frac{Y_{OBS} * Q_0 * (S_0 - S)}{1000 \frac{g}{kg}} \quad (96)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P_X = \frac{0,27 \frac{\text{kg SSV}}{\text{kg DBO}} * 668,90 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * (815,66 - 30) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} = 144,41 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

### 7.5.2.3. Sistema de aireación

El requerimiento de oxígeno (RO) corresponde a la cantidad teórica de transferencia de oxígeno al medio líquido, para satisfacer las necesidades de los microorganismos en condiciones ambientales naturales. Se define según la ecuación (97) y se adopta un factor de conversión (f) de 0,65.

$$RO = \frac{Q_0 * (S_0 - S)}{f * 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} - (1,42 * P_X) \quad (97)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$RO = \frac{668,90 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * (815,66 - 30) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,65 * 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} - (1,42 * 144,41 \frac{\text{kg}}{\text{d}}) = 603,44 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

El requerimiento de oxígeno estándar (SOR) corresponde a la cantidad de oxígeno que debe suministrar el equipo de aireación al medio líquido, según las diferentes condiciones ambientales en donde esté instalado el reactor. El mismo se calcula con la ecuación (98).

$$SOR = \frac{RO}{\left( \frac{((\beta * C_w) - C_L)}{C_s} \right)^{1,024 * (T - 20) * \alpha}} \quad (98)$$

En donde:

- ❖ Factor de corrección por salinidad y tensión superficial ( $\beta$ ) = 1.
- ❖ Concentración de oxígeno disuelto en condiciones de funcionamiento ( $C_L$ ) = 2,00 mg/L.
- ❖ Concentración de oxígeno saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm ( $C_S$ ) = 9,17 mg/L.
- ❖ Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para agua residual ( $\alpha$ ) = 0,80 (debe encontrarse entre 0,80 a 0,85).
- ❖ Temperatura del efluente (T) = 26°C<sup>5</sup>.
- ❖ Concentración de saturación de OD para el agua residual a una temperatura y altura dada ( $C_w$ ). Ver ecuación (99).

<sup>5</sup> Se considera la temperatura máxima promedio en la localidad de Bella Vista, provincia de Tucumán (Meteoblue, s/f).

$$C_w = \text{Solubilidad} * \text{Valor calibrado} \quad (99)$$

Según las tablas brindadas por la cátedra de “Diseño de sistemas de tratamientos biológicos para efluentes líquidos” (Tablas XI y XII del Anexo IV), la solubilidad a una temperatura de 26°C es de 8,11 mg/L. Mientras que, el valor calibrado a una altura de 356 m.s.n.m. en la localidad de Bella Vista (Google Earth, 2023), es del 95,50%.

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$C_w = 8,11 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{95,50\%}{100\%} = 7,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Luego, reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (98), se tiene:

$$SOR = \frac{603,44 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}}{\left( \frac{\left( \left( 1 + 7,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) - 2,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{9,17 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \right)^{1,024 * (26 - 20)^{0,80}}} = 6008,89 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

Según la información técnica proporcionada por Repicky (s/f), para el difusor de burbuja fina modelo RG-300, se elige una densidad de difusores correspondiente a 4,10 difusores por metro cuadrado. Debido a que el área del reactor es de 30,47 m<sup>2</sup>, se necesita colocar 125 difusores ( $n_{\text{dif}}$ ). El caudal de oxígeno ( $Q_{\text{O}_2}$ ) que se debe suministrar se calcula con la ecuación (100). En donde el caudal de diseño es el caudal de aire que sale del difusor (5,00 Nm<sup>3</sup>/h) y el parámetro SOTE es la eficiencia en la transferencia de oxígeno al proceso en condiciones estándar y en agua limpia (5,90%/m).

$$Q_{\text{O}_2} = Q_{\text{aire}}^{\text{diseño}} * n_{\text{dif}} * SOTE * h \quad (100)$$

Reemplazando los valores correspondientes, y teniendo en cuenta que, 1 Nm<sup>3</sup> equivale a 280 g de oxígeno, se tiene:

$$Q_{\text{O}_2} = 5,00 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} * 125 * 5,90 \frac{\%}{\text{m}} * 6 \text{ m} = 22125,00 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} = 6195,00 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

Debido a que el caudal de oxígeno es mayor que el parámetro SOR, la densidad de difusores está correctamente seleccionada.

A continuación, para seleccionar el compresor que funciona como soplador, se debe convertir el caudal de oxígeno de Nm<sup>3</sup>/h a m<sup>3</sup>/h std. Para ello, se multiplica el  $Q_{\text{O}_2}$  obtenido con la ecuación (100) por un coeficiente de 1,0728, dando como resultado 23.735,70 m<sup>3</sup>/h std. Además, se debe tener en cuenta la presión necesaria que debe soportar el equipo. Sabiendo que un metro de columna de agua equivale a 100 mbar, se requiere un  $\Delta P$  de 600 mbar ya que la altura del reactor es de 6 metros.

En la sección 6.4.2, se indica el modelo elegido de soplador que trabaja como compresor, teniendo en cuenta el caudal de aire necesario y la presión requerida, según el catálogo de Repicky (s/f).

### 7.5.3. Sedimentador secundario

El caudal que ingresa al sedimentador secundario de tipo circular ( $Q_{sed}$ ), se calcula teniendo en cuenta, el caudal de entrada al reactor de lodos activados ( $Q_0$ ) y el caudal de recirculación ( $R$ ) de dicha unidad (ecuación 101).

$$Q_{sed} = Q_0 + R \quad (101)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Q_{sed} = 668,90 \frac{m^3}{d} + 322,42 \frac{m^3}{d} = 991,32 \frac{m^3}{d}$$

El diseño del sedimentador secundario debe cumplir con los valores normales de carga hidráulica (velocidad que se necesita para que los sólidos sedimenten:  $C_H$ ) y de carga de sólidos (cantidad de sólidos que soporta el sistema:  $C_{sol}$ ) para el caudal medio, los cuales son  $16-33 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$  y  $3,9-5,9 \text{ kgSST}/\text{m}^2.\text{h}$ , respectivamente. En este caso, se adopta una carga hidráulica de  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$  y una carga de sólidos de  $4,90 \text{ kgSST}/\text{m}^2.\text{h}$ .

Considerando que en esta unidad de tratamiento ingresa el efluente industrial y el efluente cloacal, se debe conocer la cantidad total de los sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) que habrá en el sedimentador secundario.

La cantidad de SST del efluente industrial, luego de haber realizado el tratamiento de coagulación, floculación y DAF, es de  $425,00 \text{ mg/L}$ . En cambio, para el efluente cloacal, es de  $300 \text{ mg/L}$  (Orellana, J., 2005). Asimismo, la concentración de biomasa en el reactor biológico es de  $6000 \text{ mgSSV/L}$ , es decir, ese valor corresponde a los SSV. Con la ecuación (102), se puede conocer los SSV que aporta cada efluente.

$$SST = \frac{SSV}{0,8} \quad (102)$$

Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$SSV_{ind.} = 425 \frac{mg}{L} * 0,80 = 340,00 \frac{mg}{L}$$

$$SSV_{cloacal} = 300 \frac{mg}{L} * 0,80 = 240,00 \frac{mg}{L}$$

Teniendo en cuenta los datos mencionados y los caudales de cada efluente, con la ecuación (103), se puede conocer la concentración de SSV que ingresa al sedimentador secundario.

$$SSV_{\text{entrada al sed. sec.}} = \frac{Q_{\text{ind.}} * SSV_{\text{ind.}} + Q_{\text{cloacal}} * SSV_{\text{cloacal}} + Q_{\text{sed}} * SSV_{\text{reactor biológico}}}{Q_{\text{sed}}} \quad (103)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$SSV_{\text{entrada al sed. sec.}} = \frac{26,26 \text{ m}^3/\text{h} * 340,00 \text{ mg/L} + 1,61 \text{ m}^3/\text{h} * 240 \text{ mg/L} + 6000 \text{ mg/L} * 27,87 \text{ m}^3/\text{h}}{27,87 \text{ m}^3/\text{h}} = 6334,21 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Luego, aplicando la ecuación (102), los SST de entrada al sedimentador secundario ( $SST_E$ ) resultan de 7917,77 mg/L.

Para conocer el grado de sedimentabilidad de los lodos en esta unidad de tratamiento, se utiliza el índice volumétrico de lodos (IVL), según la ecuación (104).

$$IVL \left( \frac{\text{mL}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Volumen de lodos sedimentados a los 30 minutos}}{SST \text{ en la mezcla inicial}} \quad (104)$$

Un buen grado de sedimentabilidad está entre 0-50 mL/g y un mal grado, corresponde a valores mayores a 100 mL/g. Por lo tanto, considerando un grado de sedimentabilidad de 25 mL/g y sabiendo que el valor de SST en la mezcla inicial es de 7917,77 mg/L (7,92 g/L), se puede conocer el volumen de lodos sedimentados a los 30 minutos de tratamiento. Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Volumen de lodos sedimentados a los 30 minutos} = 25 \frac{\text{mL}}{\text{g}} * 7,92 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 197,94 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$$

A continuación, se detalla el cálculo realizado para el diseño de cada zona de esta unidad de tratamiento.

#### 7.5.3.1. Zona de clarificación

El área de sedimentación ( $A_{\text{sed}}$ ) se obtiene dividiendo el caudal ( $Q_{\text{sed}}$ ) y la carga hidráulica ( $C_H$ ), tal como se observa en la ecuación (105).

$$A_{\text{sed}} = \frac{Q_{\text{sed}}}{C_H} \quad (105)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{sed} = \frac{991,32 \text{ m}^3/\text{día}}{24 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}} = 61,96 \text{ m}^2$$

El sedimentador diseñado para el tratamiento de efluentes será de sección circular, por lo tanto, a partir de la ecuación (106), se procede a calcular el diámetro del mismo (D).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{sed}}{\pi}} \quad (106)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 61,96 \text{ m}^2}{\pi}} = 8,88 \text{ m}$$

El tiempo de permanencia ( $T_p$ ) depende del volumen de clarificación ( $V_{CL}$ ) y del caudal de diseño ( $Q_{sed}$ ), según la ecuación (107).

$$T_p = \frac{V_{CL}}{Q_{sed}} \quad (107)$$

Reordenando la ecuación anterior y adoptando un tiempo de permanencia de 2 horas, se tiene:

$$V_{CL} = 991,32 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} * 2 \text{ h} = 82,61 \text{ m}^3$$

La altura de clarificación ( $H_{CL}$ ) del sedimentador, se puede calcular con la ecuación (108).

$$V_{CL} = A_{sed} * H_{CL} \quad (108)$$

Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$H_{CL} = \frac{82,61 \text{ m}^3}{61,96 \text{ m}^2} = 1,33 \text{ m}$$

### 7.5.3.2. Zona de barros

Para el diseño de la tolva, se la considera como un cilindro, y se procede a calcular su altura ( $H_{tolva}$ ), según la ecuación (109). Se adopta un ángulo interno ( $\alpha$ ) de 60°.

$$H_{tolva} = \frac{D/2}{\text{tg}(90-\alpha)} \quad (109)$$

Reemplazando y eligiendo como ángulo interno 60°, se tiene:

$$H_{tolva} = \frac{8,88 m / 2}{tg(90-60)} = 7,69 m$$

Teniendo en cuenta que el sedimentador diseñado para el tratamiento de efluentes es de sección circular, y adoptando un diámetro de salida de los barroes ( $D_{salida}$ ) de 30 cm, se calcula el área inferior ( $A_{inf}$ ) con la ecuación (110).

$$D_{salida} = \sqrt{\frac{4 * A_{inf}}{\pi}} \quad (110)$$

Reordenando la ecuación anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{inf} = D_{salida}^2 * \frac{\pi}{4} = (0,30 m)^2 * \frac{\pi}{4} = 0,07 m^2$$

La altura inferior de la tolva ( $H_{inf}$ ) se calcula a partir del diámetro de la salida ( $D_{salida}$ ) y el ángulo externo de 60°, según la ecuación (111).

$$H_{inf} = \frac{D_{salida} / 2}{tg(90-\alpha)} \quad (111)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$H_{inf} = \frac{0,30 m / 2}{tg(90-60)} = 0,26 m$$

Luego, para calcular la verdadera altura de la tolva ( $H'_{tolva}$ ) se procede a restarle la altura asociada al cambio de volumen ( $H_{inf}$ ), según la ecuación (112).

$$H'_{tolva} = H_{tolva} - H_{inf} \quad (112)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$H'_{tolva} = 7,69 m - 0,26 m = 7,43 m$$

El volumen de la tolva ( $V_{tolva}$ ) se calcula a partir de la altura final de la tolva ( $H'_{tolva}$ ), el área de sedimentación y el área inferior, según la ecuación (113).

$$V_{tolva} = \left( \left( \frac{H'_{tolva}}{3} * A_{sed} \right) + A_{inf} \right) + \sqrt{A_{sed} * A_{inf}} \quad (113)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_{tolva} = \left( \frac{7,43 m}{3} * 61,96 m^2 + 0,07 m^2 \right) + \sqrt{61,96 m^2 * 0,07 m^2} = 155,76 m^3$$

## 7.5.3.3. Dimensiones del sedimentador secundario

Para calcular el volumen y la altura final del sedimentador ( $V_{sed}$ ) y ( $H_{sed}$ ), se procede a unificar la zona de clarificación y la de barros, según las ecuaciones (114) y (115).

$$V_{sed} = V_{CL} + V_{tolva} \quad (114)$$

$$H_{sed} = H_{CL} + H_{tolva} \quad (115)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V_{sed} = 82,61 \text{ m}^3 + 155,76 \text{ m}^3 = 238,37 \text{ m}^3$$

$$H_{sed} = 1,33 \text{ m} + 7,43 \text{ m} = 8,77 \text{ m}$$

## 7.5.3.4. Zona del vertedero

El caudal del vertedero ( $q_v$ ) se calcula según la ecuación (116), en donde se adopta una altura del vertedero ( $h_v$ ) de 5 cm y un ángulo ( $\alpha$ ) de  $90^\circ$ .

$$q_v = 1,32 * \tan(\alpha/2) * h_v^{2,37} \quad (116)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$q_v = 1,32 * \tan(90^\circ/2) * (0,05 \text{ m})^{2,37} = 1,09 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La cantidad de vertederos ( $n_{ver}$ ) que se necesitan para soportar el caudal que ingresa al sedimentador, se obtiene con la ecuación (117).

$$n_{ver} = \frac{Q_{sed}}{q_v} \quad (117)$$

Reemplazando los valores correspondientes y redondeando hacia el entero más próximo, se tiene:

$$n_{ver} = \frac{660,88 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ s}}}{1,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} = 8,00$$

A la altura del vertedero ( $h_v$ ) se le agrega una revancha de 2 cm, por lo tanto, la altura del vertedero ( $h_v$  real) se obtiene con la ecuación (118).

$$h_v \text{ real} = h_v + \text{revancha} \quad (118)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_v \text{ real} = 0,05 \text{ m} + 0,02 \text{ m} = 0,07 \text{ m}$$

El ancho del vertedero ( $w_v$ ) se calcula según la ecuación (119).

$$w_v = \tan(\alpha/2) * 2 * h_v \text{ real} \text{ (119)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$w_v = \tan(90^\circ/2) * 2 * 0,07 \text{ m} = 0,14 \text{ m}$$

Para conocer el largo total de los vertederos ( $L_v$ ) se multiplica el ancho del vertedero ( $w_v$ ) por la cantidad de vertederos, según la ecuación (120).

$$L_v = n_{ver} * w_v \text{ (120)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$L_v = 8,00 * 0,14 \text{ m} = 0,98 \text{ m}$$

El perímetro (P) que debe cubrirse con los vertederos, se obtiene según la ecuación (121).

$$P = \pi * D \text{ (121)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$P = \pi * 8,88 \text{ m} = 27,90 \text{ m}$$

El espacio entre los vertederos se puede calcular según la ecuación (122), a partir del perímetro (P), el largo total de los vertederos ( $L_v$ ) y la cantidad de vertederos.

$$\text{espacio entre vertederos} = \frac{P - L_v}{n_{ver}} \text{ (122)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{espacio entre vertederos} = \frac{27,90 \text{ m} - 0,98 \text{ m}}{8} = 3,36 \text{ m}$$

Para diseñar el canal del vertedero se adopta una velocidad en el canal ( $v_c$ ) de 0,02 m/s y se calcula el área del canal ( $A_c$ ) conociendo el caudal que ingresa al sedimentador, según la ecuación (123).

$$A_c = \frac{Q_{sed}}{v_c} \quad (123)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_c = \frac{660,88 \frac{m^3}{d} * \frac{1 d}{86400 s}}{0,02 \frac{m}{s}} = 0,14 m^2$$

Considerando un ancho de la base de la canaleta ( $B_c$ ) de 20 cm y junto con el área del canal ( $A_c$ ), se calcula la altura de la canaleta ( $h_c$ ) según la ecuación (124).

$$h_c = \frac{A_c}{B_c} \quad (124)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_c = \frac{0,14 m^2}{0,20 m} = 0,70 m$$

Suponiendo una revancha de 20 cm para el vertedero, se calcula la altura de la pared externa ( $h_{pared\ externa}$ ) según la ecuación (125).

$$h_{pared\ externa} = h_v + h_c + revancha \quad (125)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$h_{pared\ externa} = 0,07 m + 0,70 m + 0,20 m = 1,00 m$$

#### 7.5.3.5. Parámetros de salida

Para calcular los valores de los SST y DQO a la salida del tratamiento ( $SST_s$  y  $DQO_s$ ), que comprende el reactor de lodos activados y el sedimentador secundario, se considera una eficiencia de remoción del 90% y 95% para los SST y la DQO, respectivamente. Por lo tanto, con las ecuaciones (126) y (127), se obtienen dichos valores. Asimismo, con la ecuación (128), se obtiene el valor de la DBO a la salida del tratamiento ( $DBO_s$ ), teniendo en cuenta la relación DBO/DQO del efluente citrícola, la cual es de 0,55.

$$SST_s = SST_E - \frac{SST_E * \eta}{100\%} \quad (126)$$

$$DQO_s = DQO_E - \frac{DQO_E * \eta}{100\%} \quad (127)$$

$$DBO_s = DQO_s * \frac{DBO}{DQO} \quad (128)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$SST_S = 7917,77 \frac{mg}{L} - \frac{7917,77 \frac{mg}{L} * 90\%}{100\%} = 791,78 \frac{mg}{L}$$

$$DQO_S = 1982,03 \frac{mg}{L} - \frac{1982,03 \frac{mg}{L} * 95\%}{100\%} = 99,10 \frac{mg}{L}$$

$$DBO_S = 99,10 \frac{mg}{L} * 0,55 = 54,64 \frac{mg}{L}$$

## 7.6. Tratamiento secundario (Alternativa B)

### 7.6.1. Diseño de la laguna anaerobia

Para el diseño de la laguna anaerobia se aplica el modelo de Carga Orgánica Volumétrica (COV), en donde dicho parámetro se determina a partir de la ecuación (129), siendo T, la temperatura mínima promedio, que según (Meteoblue, s/f) es de 15°C.

$$COV = 16,50 * T - 100 \quad (129)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$COV = 16,50 * 15^{\circ}C - 100 = 147,50 \frac{gDBO}{m^3.d}$$

El volumen de la laguna (V) se obtiene al dividir la carga orgánica (CO), la cual se calcula multiplicando el caudal de entrada a la laguna (Q) y la DBO de entrada (S<sub>0</sub>), y el parámetro calculado previamente (ecuación 130).

$$V = \frac{CO}{COV} = \frac{Q * S_0}{COV} \quad (130)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * 2854,20 \frac{mg}{L}}{147,50 \frac{gDBO}{m^3.d}} = 12943,56 m^3$$

La eficiencia de remoción de la DBO ( $\eta$ ) para la temperatura indicada en el modelo, es del 50%. Por lo tanto, la DBO de salida (S) es de 1427,10 mg/L.

Con la ecuación (131) y adoptando una altura (h) de 5,00 m, se puede conocer el área de la laguna.

$$A = \frac{V}{h} \quad (131)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A = \frac{12943,56 m^3}{5 m} = 2588,71 m^2$$

Luego, con las ecuaciones (132) y (133) se obtiene el ancho (W) y el largo (L) de la laguna.

$$A = 2 * W^2 \quad (132)$$

$$A = L * W \text{ (133)}$$

Reordenando las ecuaciones anteriores y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$W = \sqrt{\frac{2588,71 m^2}{2}} = 36,00 m$$

$$L = \frac{2588,71 m^2}{35,98 m} = 72,00 m$$

Debido a que se desea lograr una pendiente de 45° en la laguna, se le suma la altura de la misma al largo y al ancho calculados previamente, para obtener el largo y ancho superior (ecuaciones 134 y 135). A su vez, restando estos parámetros, se obtiene el largo y ancho inferior (ecuaciones 136 y 137).

$$W_{SUP} = W + h \text{ (134)}$$

$$L_{SUP} = L + h \text{ (135)}$$

$$W_{INF} = W - h \text{ (136)}$$

$$L_{INF} = L - h \text{ (137)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$W_{SUP} = 36,00 m + 5 m = 41,00 m$$

$$L_{SUP} = 72,00 m + 5 m = 77,00 m$$

$$W_{INF} = 36,00 m - 5 m = 31,00 m$$

$$L_{INF} = 72,00 m - 5 m = 67,00 m$$

A continuación, se puede calcular el área superficial ( $A_S$ ) y el área de la base ( $A_B$ ) con las ecuaciones (138) y (139).

$$A_S = L_{SUP} * W_{SUP} \text{ (138)}$$

$$A_B = L_{INF} * W_{INF} \text{ (139)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_S = 77,00 \text{ m} * 41,00 \text{ m} = 3157,00 \text{ m}^2$$

$$A_B = 67,00 \text{ m} * 31,00 \text{ m} = 2077,00 \text{ m}^2$$

Por último, se verifica el volumen mediante la aplicación de la ecuación tronco piramidal (ecuación 140), el mismo debe ser mayor que el volumen calculado previamente con la ecuación (130).

$$V = \frac{h}{3} * (A_B + A_S + \sqrt{A_B * A_S}) \quad (140)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = \frac{5}{3} * (2077,00 \text{ m}^2 + 3157,00 \text{ m}^2 + \sqrt{2077,00 \text{ m}^2 * 3157,00 \text{ m}^2}) = 12991,14 \text{ m}^3$$

## 7.6.2. Diseño de la laguna facultativa

Para el diseño de la laguna facultativa, se aplican tres modelos empíricos de carga superficial (Mc Garry y Pescod, Yañez y Cubillos) y luego se realiza un promedio de los resultados obtenidos con dichos modelos.

### 7.6.2.1. Modelo de Mc Garry y Pescod

A continuación, se calculan los parámetros correspondientes al modelo de Mc Garry y Pescod para la laguna primaria. Con la ecuación (141) se calcula la carga orgánica superficial máxima aplicable (CSM) que depende de la temperatura ambiental del mes más frío ( $T_a$ ), la cual es de 13°C para la localidad de Bella Vista (Meteoblue, s/f). La CSM debe encontrarse entre 100 y 400 kg DBO/Ha.d. Luego, con la ecuación (142) se calcula la carga orgánica superficial removida (CSR), considerando que la carga orgánica superficial aplicada (CSA) es igual a la CSM.

$$CSM = 60,30 * (1,0993)^{T_a} \quad (141)$$

$$CSR = 10,35 + (0,725 * CSA) \quad (142)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSM = 60,30 * (1,0993)^{13} = 206,46 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}$$

$$CSR = 10,35 + \left(0,725 * 206,46 \frac{kg\ DBO}{ha.d}\right) = 160,03 \frac{kg\ DBO}{ha.d}$$

El área de la laguna primaria ( $A_1$ ) se obtiene al dividir la carga orgánica (CO), la cual se calcula multiplicando el caudal de entrada a la laguna (Q) y la DBO de entrada ( $S_0$ ), sobre la CSM, tal como se indica en la ecuación (143).

$$A_1 = \frac{CO}{CSM} = \frac{Q * S_0}{CSM} \quad (143)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_1 = \frac{668,90 \frac{m^3}{d} * 1427,10 \frac{mg}{L}}{1000 * 206,46 \frac{kg\ DBO}{ha.d}} = 4,62\ Ha$$

La eficiencia de remoción de la DBO del efluente que atraviesa la laguna primaria, se obtiene aplicando la ecuación (144).

$$\eta_1 = \frac{CSR}{CSM} * 100\% \quad (144)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\eta_1 = \left(\frac{160,03 \frac{kg\ DBO}{ha.d}}{206,46 \frac{kg\ DBO}{ha.d}}\right) * 100\% = 77,51\%$$

Luego, la DBO a la salida de la laguna primaria se obtiene con la ecuación (145).

$$DBO_{salida} = S_0 - \left(\frac{S_0 * \eta}{100\%}\right) \quad (145)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$DBO_{salida} = 1427,10 \frac{mg}{L} - \left(\frac{1427,10 \frac{mg}{L} * 77,51\%}{100\%}\right) = 320,91 \frac{mg}{L}$$

Para calcular el área de la laguna secundaria ( $A_2$ ) con el modelo de Mc Garry y Pescod, se comienza adoptando un valor para la CSM que esté dentro del rango recomendado por dicho modelo, en este caso se adopta un valor de CSM de 130 kg DBO/Ha.d. Mediante el uso de la ecuación (142) se obtiene la CSR, dando como resultado 104,60 kg DBO/Ha.d. A continuación, con la ecuación (143), se calcula el área de la laguna secundaria, dando como resultado, 1,65 Ha. Luego, con la expresión (144) se conoce la eficiencia de remoción ( $\eta_2$ ) de DBO, la cual es de 80,46%. Por último, utilizando la ecuación (145), la DBO a la salida de la laguna secundaria resulta de 62,70 mg/L.

## 7.6.2.2. Modelo de Yañez

A continuación, se calculan los parámetros correspondientes al modelo de Yañez para la laguna primaria. Con la ecuación (146) se obtiene la CSM que depende de la temperatura promedio del agua para el mes más frío (T), la cual se puede conocer mediante la ecuación (147), siendo  $T_a$  la misma temperatura utilizada en el modelo de Mc Garry y Pescod.

$$CSM = 357 * (1,085)^{T-20} \quad (146)$$

$$T = 8,59 + (0,82 * T_a) \quad (147)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSM = 357 * (1,085)^{19,25-20} = 335,81 \frac{kg\ DBO}{ha.d}$$

$$T = 8,59 + (0,82 * 13) = 19,25^{\circ}C$$

Luego, con la ecuación (148) se calcula la carga orgánica superficial removida (CSR), considerando que la carga orgánica superficial aplicada (CSA) es igual a la CSM. Para lagunas primarias, dicho parámetro debe encontrarse entre 200 a 1158 kg DBO/Ha.d.

$$CSR = 7,67 + (0,8063 * CSA) \quad (148)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSR = 7,67 + \left(0,8063 * 335,81 \frac{kg\ DBO}{ha.d}\right) = 278,44 \frac{kg\ DBO}{ha.d}$$

Aplicando las ecuaciones (143) a (145) detalladas en la sección anterior, se obtiene para la laguna primaria, un área ( $A_1$ ) de 2,84 Ha, una eficiencia de remoción de la DBO ( $\eta_1$ ) de 82,91% y una DBO de salida de 243,83 mg/L.

Para calcular el área de la laguna secundaria ( $A_2$ ) con el modelo de Yañez, se comienza adoptando un valor para la CSM de 80 kg DBO/Ha.d, ya que el mismo debe encontrarse entre 40 a 210 kg DBO/Ha.d. Luego, considerando que la CSM es igual a la CSA, se calcula la CSR con la ecuación (149).

$$CSR = -0,80 + (0,765 * CSA) \quad (149)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSR = -0,80 + \left(0,765 * 80,00 \frac{kg\ DBO}{ha.d}\right) = 60,40 \frac{kg\ DBO}{ha.d}$$

Por último, aplicando las ecuaciones (143) a (145) mencionadas anteriormente, se obtiene para la laguna secundaria, un área de 2,04 Ha, una eficiencia de remoción de la DBO ( $\eta_2$ ) de 75,50% y una DBO de salida de 59,74 mg/L.

### 7.6.2.3. Modelo de Cubillos

A continuación, se calculan los parámetros correspondientes al modelo de Cubillos para la laguna primaria. Con la ecuación (150) se obtiene la CSM que depende de la temperatura promedio del agua para el mes más frío (T) y de la profundidad de la laguna (d), en donde se adopta un valor de 15°C y 1,50 m, respectivamente.

$$CSM = 714,30 * d * (1,085)^{T-35} \quad \mathbf{(150)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSM = 714,30 * 1,50 \text{ m} * (1,085)^{15-35} = 209,59 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}$$

Luego, con la ecuación (151) se calcula la carga orgánica superficial removida (CSR), considerando que la carga orgánica superficial aplicada (CSA) es igual a la CSM. Para lagunas primarias, dicho parámetro debe encontrarse entre 79 a 594 kg DBO/Ha.d.

$$CSR = 25,133 + (0,675 * CSA) \quad \mathbf{(151)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSR = 25,133 + \left(0,675 * 209,59 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}\right) = 166,61 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}$$

Aplicando las ecuaciones (143) a (145) detalladas anteriormente, se obtiene para la laguna primaria, un área ( $A_1$ ) de 4,55 Ha, una eficiencia de remoción de la DBO ( $\eta_1$ ) de 79,49% y una DBO de salida de 292,68 mg/L.

Para calcular el área de la laguna secundaria ( $A_2$ ) con el modelo de Cubillos, se adopta un valor para la CSM de 100 kg DBO/Ha.d, ya que el mismo debe encontrarse entre 29 a 244 kg DBO/Ha.d. Luego, considerando que la CSM es igual a la CSA, se calcula la CSR con la ecuación (152).

$$CSR = -3,8179 + (0,8167 * CSA) \quad \mathbf{(152)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$CSR = -3,8179 + \left(0,8167 * 100 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}\right) = 77,85 \frac{\text{kg DBO}}{\text{ha.d}}$$

Por último, aplicando las ecuaciones (143) a (145) mencionadas anteriormente, se obtiene para la laguna secundaria, un área de 1,96 Ha, una eficiencia de remoción de la DBO ( $\eta_2$ ) de 77,85% y una DBO de salida de 64,82 mg/L.

#### 7.6.2.4. Dimensiones de la laguna facultativa

Para obtener el área que ocupa la laguna facultativa, se realiza una sumatoria del área primaria y secundaria calculada con cada modelo, obteniéndose los siguientes resultados: 6,27 Ha (Mc Garry y Pescod), 4,88 Ha (Yañez) y 6,51 Ha (Cubillos). A continuación, se realiza el promedio de dichas áreas, dando como resultado un área promedio ( $A_{prom}$ ) de 5,89 Ha. Luego, con la ecuación (153), se calcula el volumen de la laguna, adoptando una profundidad ( $h$ ) para la misma de 1,50 m.

$$V = A_{prom} * h \text{ (153)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = 5,89 \text{ Ha} * 1,50 \text{ m} * \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ Ha}} = 88342,35 \text{ m}^3$$

En cuanto al valor del parámetro de DBO a la salida, también se realiza el promedio de los valores obtenidos con los modelos descritos, obteniéndose como resultado, 62,42 mg/L.

Finalmente, aplicando las ecuaciones (134) a (137) de la sección 7.6.1. se obtienen las siguientes dimensiones para la laguna facultativa:

- ❖ Ancho superior ( $W_{SUP}$ ) = 173,10 m.
- ❖ Ancho inferior ( $W_{INF}$ ) = 170,10 m.
- ❖ Largo superior ( $L_{SUP}$ ) = 345,00 m.
- ❖ Largo inferior ( $L_{INF}$ ) = 342,00 m.
- ❖ Área superficial ( $A_S$ ) = 59719,50 m<sup>2</sup>.
- ❖ Área de la base ( $A_B$ ) = 58174,20 m<sup>2</sup>.
- ❖ Volumen ( $V$ ) = 88147,74 m<sup>3</sup>.

Se destaca que el volumen obtenido es mayor que el volumen calculado previamente con la ecuación (153), por lo tanto, las dimensiones de la laguna se verifican correctamente.

Debido a que la DBO de salida (62,42 mg/L) no cumple con la normativa, en donde dicho parámetro debe ser menor o igual a 50 mg/L, se plantea la construcción de una segunda laguna facultativa. Para ello, se sigue el mismo procedimiento de cálculo realizado

en la sección 7.6.2. Como resultado, se obtiene una DBO de salida de 3,96 mg/L. Las dimensiones de la laguna se detallan en la sección 6.5.2.

## 7.7. Tratamiento terciario

### 7.7.1. Diseño de la cámara de desinfección

A continuación, se realiza el dimensionamiento de la cámara de desinfección para el caso de la alternativa A. Luego, para calcular las dimensiones de esta unidad correspondiente a la alternativa B, se utilizan las mismas ecuaciones presentadas en esta sección, y los resultados se detallan en la sección 6.6.

El parámetro de coliformes fecales para la absorción por suelo, según la Resolución N°030/2009 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente de la provincia de Tucumán, debe ser menor a 100 NMP/100 mL. En este caso, se elige un valor de 80 NMP/100 mL ( $N_F$ ). Reordenando la ecuación (154), se puede calcular el equivalente en UFC<sup>6</sup> (Millipore, 2017).

$$\log_{10} UFC = 0,07 + 1,05 * \log_{10} NMP \quad (154)$$

Reordenando la relación anterior, obtenemos que el límite utilizado será de:

$$UFC = 10^{0,07+1,05*\log_{10}(80)} = 117,02 UFC/100 mL$$

La concentración de cloro ( $C_{cloro}$ ) necesaria, se calcula con la ecuación (155), en donde el parámetro  $N_0$ , corresponde a la cantidad inicial de UFC del efluente, 22.000 UFC/100 mL (valor adoptado de la cátedra) y se considera un tiempo de permanencia ( $t_p$ ) de 40 minutos.

$$C_{cloro} = \frac{(N_f/N_0)^{-1/3}-1}{0,23*t_p} \quad (155)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$C_{cloro} = \frac{(117,02 UFC/100 mL / 22.000 UFC/100 mL)^{-1/3}-1}{0,23*40 min} = 0,51 \frac{mg}{L}$$

La capacidad del dosificador de cloro ( $Cap_{cloro}$ ) para un caudal (Q) de 991,32 m<sup>3</sup>/día, se determina a partir de la ecuación (156).

<sup>6</sup> Las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) son una medida que se utiliza en el campo de la microbiología para estimar el número de células bacterianas o fúngicas viables en una muestra.

$$Cap_{cloro} = C * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1kg}{10^6mg} * Q \quad (156)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$Cap_{cloro} = 0,51 \frac{mg}{L} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1kg}{10^6mg} * 991,32 \frac{m^3}{dia} = 0,51 \frac{kgCl}{dia}$$

Conociendo el caudal diario y el tiempo de permanencia, con la ecuación (157) se puede calcular el volumen de la cámara de desinfección.

$$V = Q * \frac{1dia}{24h} * \frac{1h}{60min} * t_p \quad (157)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$V = 991,32 \frac{m^3}{dia} * \frac{1dia}{24h} * \frac{1h}{60min} * 40min = 27,54 m^3$$

Adoptando una altura (h) de 3 m (y luego sumando 20 cm de revancha a este parámetro), se puede calcular el área de la cámara de desinfección (A), según la ecuación (158).

$$A = \frac{V}{h} \quad (158)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A = \frac{27,54 m^3}{3m} = 9,18 m^2$$

Luego, adoptando un largo de cámara (L) de 10 m, el ancho de la cámara (C) se puede calcular de acuerdo a la ecuación (159).

$$C = \frac{A}{L} \quad (159)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$C = \frac{9,18 m^2}{10m} = 0,92 m$$

La relación entre el largo (L) y el ancho de camino (c) está dada por la expresión (160). La misma puede reordenarse para obtener de este último parámetro.

$$\frac{L}{c} = 50 \quad (160)$$

Reordenando la expresión anterior y reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$c = \frac{L}{50} = \frac{10 \text{ m}}{50} = 0,20 \text{ m}$$

El número de tabiques ( $n_{\text{tab}}$ ) se puede calcular con la ecuación (161).

$$n_{\text{tab}} = \frac{C(m)}{c(m)} - 1 \quad \text{(161)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$n_{\text{tab}} = \frac{0,92 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} - 1 = 3,59 \simeq 4$$

Por último, el ancho real de la cámara ( $A_{\text{real}}$ ) se calcula con la ecuación (162). Para ello, se adopta un ancho de tabique ( $A_{\text{tab}}$ ) de 0,15 m y un ancho de pared ( $A_{\text{pared}}$ ) de 0,25 m.

$$A_{\text{real}} = N^{\circ} \text{ tabique} * A_{\text{tab}} + 2 * \text{ancho}_{\text{pared}} + (N^{\circ} \text{ tabiques} + 1) * c \quad \text{(162)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$A_{\text{real}} = (4 * 0,15 \text{ m}) + (2 * 0,25 \text{ m}) + ((4 + 1) * 0,20 \text{ m}) = 2,10 \text{ m}$$

### 7.7.2. Cantidad de desinfectante necesario

El desinfectante a utilizar es el hipoclorito de sodio, sabiendo que su concentración es de 110 g/L, se calcula la cantidad de litros asociados para la capacidad del dosificador de 0,51 kg de cloro por día (correspondiente a la alternativa B de tratamiento), según la ecuación (163).

$$\text{Volumen de desinfectante requerido} = \frac{\text{Cap}_{\text{cloro}}}{\text{Conc. del desinfectante}} \quad \text{(163)}$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Volumen de desinfectante requerido} = \frac{510 \text{ g Cl}}{110 \text{ g/L}} = 3,13 \text{ L}$$

Multiplicando el valor anterior (4,91 L) por 30 días, se puede saber la cantidad de litros de hipoclorito de sodio necesarios por mes para la desinfección del efluente.

### 7.8. Tratamiento de lodos

Para calcular el volumen de lodos provenientes de la unidad DAF de ambas alternativas, posterior a su deshidratación con el equipo deshidratador de prensa de tornillo

multidisco, se utiliza la ecuación (164) que se detalla a continuación. Para ello, se considera que dicho equipo remueve el 75% de la humedad del lodo y al volumen de lodo original generado (6,30 m<sup>3</sup>/d), se le agrega un factor de seguridad del 20% (7,56 m<sup>3</sup>/d).

$$\text{Vol. lodo posterior a la deshidratación} = \left( \frac{\% \text{ de humedad restante}}{100} \right) * \text{Vol. lodo original} \quad (164)$$

Reemplazando los valores correspondientes, se tiene:

$$\text{Vol. lodo posterior a la deshidratación} = \left( \frac{(100-75)}{100} \right) * 6,30 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 1,89 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

El mismo procedimiento se utiliza para calcular el volumen de lodos provenientes del reactor UASB y del reactor de lodos activos del tratamiento secundario de la alternativa A, posterior a su deshidratación. En este caso, el volumen de lodo original generado es de 0,89 m<sup>3</sup>/d. Aplicando la ecuación anterior, se obtiene como resultado un volumen de 0,27 m<sup>3</sup>/d.

Previo y posterior a la deshidratación de este material, el mismo debe acopiarse en tanques de almacenamiento, que serán vaciados diariamente. Para el lodo húmedo se plantea el guardado en un tanque con un volumen (V) de 1,50 m<sup>3</sup> (alternativa A) y un tanque de 8 m<sup>3</sup> (alternativas A y B). Mientras que, para el lodo posterior a su deshidratación, se propone el guardado en un tanque de 0,50 m<sup>3</sup> (alternativa A) y un tanque de 2 m<sup>3</sup> (alternativas A y B). Los mismos son fabricados por el proveedor descrito en la sección 6.7.

Las dimensiones de los tanques (largo, L; ancho, A; altura, H) se calculan con la ecuación 165, teniendo en cuenta que la geometría de los mismos es cuadrada. En la tabla 27 se observan los resultados obtenidos.

$$V = L * A * H \quad (165)$$

**Tabla 27.** Dimensiones de los tanques de almacenamiento del lodo húmedo y seco.

Fuente: elaboración propia.

Tanque	Volumen (m <sup>3</sup> )	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Lodo húmedo Unidad DAF Ambas alternativas	8,00	2,31	2,31	1,50
Lodo húmedo Reactor UASB y Reactor lodos activados Alternativa A	1,50	1,22	1,22	1,00
Lodo seco	2,00	1,15	1,15	1,50

Unidad DAF Ambas alternativas				
Lodo seco Reactor UASB y Reactor lodos activados Alternativa A	0,50	1,00	1,00	0,50

### 7.9. Selección de alternativa de tratamiento

Luego de haber realizado la memoria de cálculo de diseño de ambas alternativas, se tiene como resultado que la eficiencia de remoción de DBO a la salida del tratamiento con la alternativa A es de 54,64 mg/L, mientras que, con la alternativa B es de 2,84 mg/L. De acuerdo con los límites admisibles mínimos para la descarga a cuerpo de agua superficial establecidos en el Anexo I de la Resolución N°030/2009, la DBO del efluente debe ser menor a 50,00 mg/L. Por lo tanto, la alternativa de tratamiento que cumple con este requisito es la alternativa B, ya que en la alternativa A, este parámetro resulta superior al límite admisible mínimo. Teniendo en cuenta esta observación y lo indicado en la sección **5.2. Comparación de las alternativas de tratamiento**, se define entonces que la alternativa de tratamiento más adecuada para tratar el efluente citrícola es la alternativa B.

### 7.10. Sistema de conducción e impulsión del efluente

En esta sección, se realiza el dimensionamiento del sistema de conducción del efluente industrial y cloacal a través de la planta de tratamiento. El mismo está formado por tuberías, accesorios y bombas para impulsar el efluente cuando sea necesario. El material de las tuberías es de policloruro de vinilo (PVC), el cual cuenta con alta resistencia química, a la corrosión y a la abrasión, son durables, de fácil instalación y bajo mantenimiento.

En la tabla 28, se listan los tramos que forman parte del sistema de conducción del efluente, se indica su identificación, donde comienza y finaliza cada uno y la etapa de tratamiento correspondiente.

**Tabla 28.** Listado de los tramos del sistema de conducción de la planta de tratamiento de efluentes.

*Fuente: elaboración propia.*

Etapa de tratamiento	Tramo	Inicio	Fin
Pretratamiento del efluente industrial	1.1	Planta productiva (Efluente industrial)	Rejas medias
	1.2	Rejas medias	Tamiz de malla media
	1.3	Tamiz de malla fina	Tanque de compensación

	1.4	Tanque de compensación	Cámara de coagulación
Pretratamiento del efluente cloacal	2.1	Efluente cloacal	Rejas finas
	2.2	Rejas finas	Laguna anaerobia
Tratamiento primario	3.1	Cámara de coagulación	Cámara de floculación
	3.2	Cámara de floculación	Cámara DAF
	3.3	Cámara DAF	Cámara de presurización
	3.4	Cámara de presurización	Cámara DAF
	3.5	Cámara DAF	Laguna anaerobia
Tratamiento secundario	4.1	Laguna anaerobia	Laguna facultativa N°1
	4.2	Laguna facultativa N°1	Laguna facultativa N°2
	4.3	Laguna facultativa N°2	Cámara de desinfección
Tratamiento terciario	5.1	Cámara de desinfección	Cámara de toma de muestra y medición de caudal
	5.2	Cámara de toma de muestra y medición de caudal	Cuerpo de agua superficial
Tratamiento de lodos	6.1	Cámara DAF	Equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco
	6.2	Tanque de almacenamiento del lodo húmedo	Equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco

La conducción del efluente en los tramos 1.1, 2.1, 2.2, 3.5, 4.1, 4.2, 5.1 y 5.2 se realiza por gravedad debido a la disposición de las unidades de tratamiento en diferentes alturas. Mientras que, en los tramos restantes (excepto en el tramo 3.4), el efluente es impulsado mediante bombas para elevarlo a las correspondientes unidades de tratamiento.

Para simplificar el cálculo del sistema de conducción, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- ❖ El fluido que se transporta a través de las tuberías es no viscoso, es decir, se desestima la fricción entre las partículas del fluido.
- ❖ El fluido es incompresible, es decir, su densidad no varía con el tiempo.
- ❖ El flujo es irrotacional, es decir, no se producen vórtices o torbellinos en el mismo.

- ❖ El flujo es turbulento, es decir, el perfil de velocidades dentro de las tuberías está completamente desarrollado.
- ❖ El sistema se encuentra en estado estacionario, es decir, las propiedades del fluido en un punto específico del sistema son constantes y no varían con el tiempo.

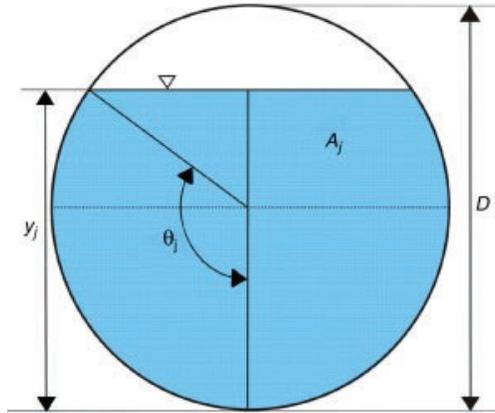
En la tabla 29, se listan las velocidades recomendadas para fluidos en tuberías con una pendiente mínima ( $I$ ) del 3%. En el caso de líquidos poco viscosos en línea de conducción, se adopta una velocidad ( $V_c$ ) de 1,80 m/s. Mientras que, para el flujo impulsado por gravedad, se adopta una velocidad ( $V_g$ ) de 0,25 m/s.

**Tabla 29.** Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. Fuente: Cátedra de la materia de Operaciones Unitarias en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,50 - 1,00	0,15 - 0,30
	Entrada de bomba	1,00 - 3,00	0,30 - 0,90
	Salida de bomba	4,00 - 10,00	1,20 - 3,00
	Línea de conducción	4,00 - 8,00	1,20 - 2,40
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,20 - 0,50	0,06 - 0,15
	Salida de bomba	0,50 - 2,00	0,15 - 0,60
Vapor de agua	-	30,00 - 100,00	9,00 - 15,00
Aire o gas	-	30,00 - 100,00	9,00 - 30,00

#### 7.10.1. Conducciones a gravedad y a presión

Para realizar el cálculo de las conducciones a gravedad y a presión, se considera una tubería de sección circular que se encuentra parcialmente llena, tal como se observa en la figura 22.



**Figura 22.** Esquema de una tubería parcialmente llena. Fuente: Pozos Estrada et al. (2017).

A continuación, se describen las propiedades geométricas más relevantes de este tipo de tuberías.

El área ( $A_M$ ) es el área mojada o área de la sección transversal del flujo, perpendicular a la dirección de flujo, y se obtiene con la ecuación (166). En donde,  $D$  es el diámetro interno de la tubería y  $\theta$  es el ángulo desde la superficie del líquido hasta el centro de la tubería, el cual depende del tirante del agua.

$$A_M = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen}\theta) * D^2 \quad (166)$$

El perímetro mojado ( $P_M$ ) es la longitud de la línea de intersección de la superficie mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo, y el mismo se puede calcular con la ecuación (167).

$$P_M = \frac{1}{2} * \theta * D \quad (167)$$

El radio hidráulico ( $R_H$ ) es la relación del área mojada con respecto al perímetro mojado y se obtiene con la ecuación (168).

$$R_H = \frac{1}{4} * \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) * D \quad (168)$$

En este caso, considerando una altura de llenado ( $y_j$ ) de 0,75, el ángulo  $\theta$  resulta de 120°. Según las relaciones geométricas que aplican para las tuberías parcialmente llenas (Tabla XIII del Anexo IV), se obtienen las expresiones (169), (170) y (171).

$$A_M = 0,6319 * D^2 \quad (169)$$

$$P_M = 2,0944 * D \quad (170)$$

$$R_H = 0,3017 * D \quad (171)$$

Luego, con la ecuación (172) se calcula el área mojada de la tubería. En donde, Q es el caudal máximo que circula por ella (en m<sup>3</sup>/s) y V es la velocidad del flujo impulsado por gravedad o por presión, según corresponda. Este cálculo se aplica para cada tramo de las tuberías con sus correspondientes caudales.

$$A = \frac{Q}{V} \quad (172)$$

En la tabla 30, se pueden observar los resultados obtenidos de las dimensiones para cada tramo de las tuberías impulsadas a gravedad y a presión. Se requieren tuberías con diámetro interno de 40, 50, 100, 150, 190 y 200 mm. El proveedor de las tuberías seleccionado se detalla en la sección 6.8.

**Tabla 30.** Resultados obtenidos de las dimensiones de cada tramo de las tuberías impulsadas a gravedad y a presión. Fuente: elaboración propia.

Tramo	Caudal (Q)	Velocidad del fluido (V)	Área mojada (A <sub>M</sub> )	Diámetro interno (D)	Radio hidráulico (R)
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m <sup>2</sup>	m	m
1.1	0,007	0,30	0,024	0,20	0,06
1.2	0,007	1,20	0,006	0,10	0,03
1.3	0,007	1,20	0,006	0,10	0,03
1.4	0,007	1,20	0,006	0,10	0,03
2.1	0,001	0,30	0,002	0,05	0,02
2.2	0,001	0,30	0,0017	0,05	0,02
3.1	0,007	1,20	0,006	0,10	0,03
3.2	0,007	1,20	0,006	0,10	0,03
3.3	0,007	1,20	0,006	0,20	0,06
3.4	0,004	0,30	0,014	0,15	0,05
3.5	0,007	0,30	0,023	0,19	0,06
4.1	0,008	0,30	0,026	0,10	0,03
4.2	0,008	0,30	0,026	0,20	0,06
4.3	0,008	1,20	0,006	0,10	0,03

5.1	0,008	0,30	0,026	0,20	0,06
5.2	0,008	0,30	0,026	0,20	0,06
6.1	0,001	1,20	0,001	0,04	0,01
6.2	0,001	1,20	0,001	0,04	0,01

La pérdida de carga en una tubería corresponde a la pérdida de presión que se produce en un fluido como consecuencia de la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Las mismas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, entre otras.

La ecuación de Darcy-Weisbach se utiliza para calcular la pérdida de carga debido a la fricción en una tubería (ecuación 173). En el caso de las conducciones a gravedad, las pérdidas de carga localizadas se desprecian ya que el flujo presenta una velocidad muy baja.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = f \frac{8LQ^2}{g\pi D^5} \quad (173)$$

En donde:

- ❖  $h_f$  = Pérdida de carga debido a la fricción (m).
- ❖  $f$  = Factor de fricción de Darcy.
- ❖  $L$  = Longitud de la tubería (m).
- ❖  $D$  = Diámetro de la tubería (m).
- ❖  $V$  = Velocidad del flujo (m/s).
- ❖  $g$  = Aceleración debida a la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- ❖  $Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s).

El factor de fricción de Darcy se obtiene a partir del Diagrama de Moody, el cual relaciona el factor de fricción de Darcy, el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa ( $k/D$ ) para un flujo completamente desarrollado en una tubería circular. Siendo  $k$ , la rugosidad absoluta de la tubería, que se define como la variación media del radio interno del conducto, ya que en el interior de las tuberías comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños. Para las tuberías de PVC,  $k$  es de 0,0015. Cuando el Re es mayor a  $10^6$ , el factor de fricción es independiente del número de Reynolds y se utiliza la ecuación (174), considerando el diámetro de la tubería en mm.

$$f = 0,026 * \left(\frac{k}{D}\right)^{0,24} \quad (174)$$

El número de Reynolds se calcula con la ecuación (175). Considerando una temperatura del efluente de 34°C, se adopta una densidad del mismo ( $\rho$ ) de 994,73 kg/m<sup>3</sup> (correspondiente a la densidad del agua a dicha temperatura) y una viscosidad del efluente de 7,34x10<sup>-4</sup> kg/m.s (correspondiente a la viscosidad del agua a dicha temperatura (VaxaSoftware, 2023)).

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (175)$$

Finalmente, la pérdida de carga como consecuencia de los accesorios ( $h_{f, acc}$ ) en las tuberías, se calcula con la ecuación (176). En donde,  $K_{acc}$  es el coeficiente de pérdida de carga de los accesorios.

$$h_{f, acc} = K_{acc} * \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (176)$$

En la Tabla XIV del Anexo IV, se listan los accesorios que se utilizan en cada tramo del sistema de conducción con sus respectivos coeficientes de pérdida de carga. Mientras que, en la tabla 31, se observan para cada tramo del sistema de conducción, los resultados obtenidos de los parámetros descritos anteriormente.

**Tabla 31.** Resultados obtenidos de las pérdidas de carga de cada tramo de las tuberías impulsadas a gravedad y a presión. Fuente: elaboración propia.

Tramo	Nº de Reynolds (Re)	Longitud de la tubería (L)	Rug. relativa (k/D)	Factor de fricción de Darcy (f)	Pérdida de carga en la tubería (h <sub>f</sub> )	Pérdida de carga en los accesorios (h <sub>f, acc</sub> )	Pérdida de carga total (h <sub>f, total</sub> )
	-	m	-	-	m	m	m
1.1	79749	15,00	0,008	0,008	0,006	0,021	0,026
1.2	159499	3,00	0,015	0,010	0,044	0,123	0,166
1.3	159499	3,00	0,015	0,010	0,044	0,319	0,362
1.4	79749	3,00	0,015	0,010	0,044	0,343	0,386
2.1	21194	15,00	0,029	0,011	0,030	0,021	0,050
2.2	42388	15,00	0,029	0,011	0,030	0,001	0,031
3.1	159499	3,00	0,015	0,010	0,044	0,361	0,405
3.2	159499	3,00	0,015	0,010	0,044	0,374	0,417
3.3	159499	15,00	0,015	0,010	0,218	0,165	0,383
3.4	61232	2,00	0,010	0,009	0,001	0,010	0,011

3.5	78126	15,00	0,008	0,008	0,006	0,008	0,014
4.1	82162	5,00	0,007	0,008	0,002	-	0,002
4.2	82162	5,00	0,007	0,008	0,002	-	0,002
4.3	164323	15,00	0,015	0,009	0,210	0,257	0,467
5.1	82162	1600,00	0,007	0,008	0,592	-	0,592
5.2	82469	5,00	0,007	0,008	0,002	0,008	0,010
6.1	71330	5,00	0,034	0,012	0,197	0,214	0,411
6.2	59058	5,00	0,041	0,012	0,249	0,110	0,359

### 7.10.2. Impulsión del efluente

La impulsión del efluente se realiza mediante bombas centrífugas, las cuales transforman la energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido. De esta manera, la velocidad del mismo se incrementa y pueden desplazarse grandes distancias.

Considerando la ecuación de Bernoulli (ecuación 177), se calcula la carga que tiene que desarrollar la bomba. El punto de succión de la bomba se indica como punto A, mientras que, el punto de descarga se indica como punto B.

$$\frac{\eta^*W_B}{g} = \left( \frac{P_A}{g*\rho} + Z_A + \frac{V_A^2}{2*g} \right) - \left( \frac{P_B}{g*\rho} + Z_B + \frac{V_B^2}{2*g} \right) + h_f \quad (177)$$

En donde:

- ❖  $\eta$  = Eficiencia de la bomba.
- ❖  $W_B$  = Trabajo realizado por la bomba (J).
- ❖  $g$  = Aceleración debida a la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- ❖  $\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).
- ❖  $\Delta Z$  = Diferencia de altura entre el punto de succión y descarga.
- ❖  $V$  = Velocidad del fluido (m/s).
- ❖  $P$  = Presión (kg/m.s<sup>2</sup>).

Para el caso de una bomba que se encuentra a la altura del punto de descarga del efluente, es posible despreciar la diferencia de las velocidades y presiones en ambos puntos ya que  $V_A$  y  $V_B$  tienen valor cero y las presiones ( $P_A$  y  $P_B$ ) tienen el valor de la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ). De esta manera, en el trabajo realizado por la bomba, se tiene en cuenta la diferencia de altura entre el punto de succión y descarga, y la pérdida de carga total de los tramos del sistema de conducción en donde se encuentran ubicadas las bombas.

La potencia (P) con la que debe contar la bomba se calcula con la ecuación (178). Para ello, se adopta una eficiencia de la bomba del 50%.

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot \Delta Z}{\eta} \quad (178)$$

En la tabla 32, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de las bombas a instalar para impulsar el efluente a través de las unidades de tratamiento. El proveedor de los modelos de estos equipos se detalla en la sección 6.8. La ubicación de las bombas en cada tramo se observa en los planos N°11 y N°12.

**Tabla 32.** Resultados obtenidos de los parámetros de las bombas a instalarse.

Fuente: elaboración propia.

Tramo	Altura desarrollada ( $\Delta Z$ )	Caudal (Q)	Potencia (P)
	m	m <sup>3</sup> /s	W
1.2	1,56	0,007	221,50
1.3	5,85	0,007	832,71
1.4	6,39	0,007	909,11
3.1	4,35	0,007	619,18
3.2	1,92	0,007	272,91
3.3	4,38	0,007	623,90
4.3	2,22	0,008	334,92
6.1	1,82	0,001	54,41
6.2	1,86	0,001	36,28

## 8. Cómputo y presupuesto

En esta sección se realiza el cómputo y presupuesto del proyecto, considerando la inversión inicial necesaria, el costo de operación y mantenimiento, y por último, el financiamiento del mismo. Los costos se expresan en dólares estadounidenses (USD).

### 8.1. Inversión inicial

La inversión inicial (I) del proyecto se refiere al monto de dinero que se requiere para la construcción y puesta en marcha del mismo. Dicha inversión se obtiene multiplicando la cantidad necesaria del ítem por su precio correspondiente, y luego, se suman los resultados, tal como se indica en la ecuación (179).

$$\text{Inversión inicial (I)} = \sum \text{unidades necesarias del producto} * \text{costo del producto} \quad \mathbf{(179)}$$

Para este cálculo se tienen en cuenta los costos de los trabajos preliminares, movimiento de suelo, infraestructura, instalaciones, infraestructura y equipamiento de las unidades de tratamiento. Asimismo, se incluyen los costos de realización del proyecto ejecutivo, dirección de obra, honorarios de profesionales y obreros, de las gestiones administrativas, limpieza final de obra, y por último, de la puesta en marcha y revisión. Dichos costos fueron extraídos en base a diferentes proveedores y fabricantes nacionales e internacionales, de la edición digital del mes de septiembre 2023 de la revista ARQ de Clarín y del generador de precios de la construcción de CYPE Ingenieros S.A (s/f).

A su vez, se considera el concepto de AIU (Administración, Imprevistos y Utilidad), el cual es utilizado en los contratos de construcción para conocer el riesgo y la seguridad con la que se cuenta al elaborar e iniciar un presupuesto de obra (Bohórquez Patiño & Rojas López, 2009).

- Administración (A) se refiere a los costos indirectos necesarios para el desarrollo del proyecto, tales como, honorarios, impuestos, entre otros. Se estima en un 15%.
- Imprevistos (I) se refiere al presupuesto para cubrir posibles sobrecostos del proyecto. Se estima en un 5%.
- Utilidad (U) representa la ganancia del contratista por la realización del contrato. Se estima en un 5%.

En la tabla 33 se detalla el cómputo y presupuesto de la inversión inicial del presente proyecto. Se tiene entonces que el costo de inversión del mismo al día 16 de octubre de 2023 con un dólar oficial de \$365,50 según el Banco de la Nación Argentina es de USD \$508.570,32 (Dólares estadounidenses quinientos ocho mil quinientos setenta con treinta y dos centavos).

**Tabla 33. Cómputo y presupuesto de la inversión inicial del proyecto.**

Fuente: elaboración propia.

ÍTEM N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (USD)		COSTO TOTAL (USD)	% DE INCIDENCIA
				UNITARIO	PARCIAL		
<b>1</b>	<b>Trabajos preliminares</b>					<b>\$ 41,313.27</b>	<b>10.15</b>
1.1	Limpieza y nivelación del terreno	m2	150000	\$ 0.27	\$ 41,039.67		
1.2	Obrador, depósito y sanitarios	m2	20	\$ 13.68	\$ 273.60		
<b>2</b>	<b>Movimiento de suelo</b>					<b>\$ 256,505.97</b>	<b>63.05</b>
2.1	Excavación para cimientos y zanjas	m3	250	\$ 6.57	\$ 1,641.59		
2.2	Excavación de las lagunas de estabilización	m3	105832	\$ 1.66	\$ 176,127.03		
2.3	Obra de rectificación de lagunas (limpieza, taludes, compactación)	m2	1547	\$ 4.10	\$ 6,348.84		
2.4	Carga y retiro de tierra con camión	m3	105832	\$ 0.68	\$ 72,388.51		
<b>3</b>	<b>Infraestructura</b>					<b>\$ 4,040.49</b>	<b>0.99</b>
3.1	Obra gruesa (no incluye instalación eléctrica y	m2	1	\$ 957.59	\$ 957.59		
3.2	Obra fina (no incluye instalación eléctrica y	m2	1	\$ 957.59	\$ 957.59		
3.3	Pavimentos y caminos	m2	100	\$ 21.25	\$ 2,125.31		
<b>4</b>	<b>Instalaciones</b>					<b>\$ 9,575.92</b>	<b>2.35</b>
4.1	Instalación de energía eléctrica	gl	1	\$ 4,103.97	\$ 4,103.97		
4.2	Instalación sanitaria	gl	1	\$ 5,471.96	\$ 5,471.96		
<b>5</b>	<b>Infraestructura y equipamiento de las unidades de tratamiento</b>					<b>\$ 78,307.06</b>	<b>19.25</b>
5.1	Rejas medias	U	2	\$ 2,051.98	\$ 4,103.97		
5.2	Rejas finas	U	2	\$ 2,051.98	\$ 4,103.97		
5.3	Tamiz GTE 1200 (Gedar)	U	2	\$ 2,735.98	\$ 5,471.96		
5.4	Tanque de compensación	U	1	\$ 2,462.38	\$ 2,462.38		
5.5	Cámara de coagulación	U	1	\$ 1,709.99	\$ 1,709.99		
5.6	Cámara de floculación	U	1	\$ 1,709.99	\$ 1,709.99		
5.7	Cámara DAF	U	1	\$ 1,709.99	\$ 1,709.99		
5.8	Cámara de desinfección	U	1	\$ 1,367.99	\$ 1,367.99		
5.9	Deshidratador de prensa de tornillo multidisco (Ekoton)	U	1	\$ 10,396.72	\$ 10,396.72		
5.10	Tanque de almacenamiento	U	2	\$ 2,462.38	\$ 4,924.76		
5.11	Difusor de burbuja gruesa (Repicky)	U	19	\$ 49.25	\$ 935.70		
5.12	Soplador modelo R200 (Repicky)	U	2	\$ 766.07	\$ 1,532.15		
5.13	Difusor de burbuja fina (Repicky)	U	3	\$ 49.25	\$ 147.74		
5.14	Soplador modelo R100 (Repicky)	U	1	\$ 820.79	\$ 820.79		
5.15	Turbina flujo radial de 6 paletas (Crismet)	U	1	\$ 547.20	\$ 547.20		
5.16	Turbina flujo axial de 4 paletas (Crismet)	U	1	\$ 547.20	\$ 547.20		
5.17	Agitador liviano de turbina (Crismet)	U	2	\$ 957.59	\$ 1,915.18		
5.18	Bomba dosificadora electrónica (Haza)	U	4	\$ 629.27	\$ 2,517.10		
5.19	Bomba sumergible para aguas residuales, modelo Minipaf (Haza)	U	7	\$ 1,094.39	\$ 7,660.74		
5.20	Bomba sumergible para achique y drenaje, modelo Supersand (Haza)	U	2	\$ 1,231.19	\$ 2,462.38		
5.21	Geomembrana de PVC (Flexplan STD 0.8 - Coripa)	U	2418	\$ 8.00	\$ 19,344.00		
5.22	Instalación tuberías de biogas	gl	1	\$ 1,367.99	\$ 1,367.99		
5.23	Antorcha de biogás	U	1	\$ 547.20	\$ 547.20		
<b>6</b>	<b>Otros</b>					<b>\$ 13,419.97</b>	<b>3.30</b>
6.1	Proyecto ejecutivo	gl	1	\$ 5,471.96	\$ 5,471.96		
6.2	Dirección de obra	gl	1	\$ 4,651.16	\$ 4,651.16		
6.3	Honorarios de profesionales y obreros	gl	1	\$ 1,094.39	\$ 1,094.39		
6.4	Gestiones administrativas	gl	1	\$ 2,188.78	\$ 2,188.78		
6.5	Limpieza final de obra	m2	1	\$ 13.68	\$ 13.68		
<b>7</b>	<b>Entrega</b>					<b>\$ 3,693.57</b>	<b>0.91</b>
7.1	Puesta en marcha	gl	1	\$ 2,462.38	\$ 2,462.38		
7.2	Revisión	gl	1	\$ 1,231.19	\$ 1,231.19		
<b>COSTO TOTAL DE INVERSIÓN INICIAL (USD)</b>						<b>\$ 406,856.26</b>	
AIU (+25%)						<b>\$ 508,570.32</b>	

## 8.2. Operación y mantenimiento

En esta sección se describen los costos referidos al funcionamiento de la planta y al mantenimiento de las unidades de tratamiento. Se incluyen los costos de insumos químicos, energía eléctrica, honorarios del personal requerido, gestión de lodos, y por último, mantenimiento y gastos imprevistos.

### 8.2.1. Insumos químicos

En la tabla 34 se detalla el cómputo y presupuesto de los insumos químicos requeridos en las unidades de tratamiento. Se incluye un coagulante, floculante, desinfectante y regulador de pH.

**Tabla 34.** Cómputo y presupuesto de los insumos químicos necesarios para el proyecto.

Fuente: elaboración propia.

INSUMO QUÍMICO	UNIDAD	CANTIDAD NECESARIA (kg/día ó L/día)	ENVASE DEL PRODUCTO A COMPRAR		COSTO TOTAL POR MES (USD)
			CANTIDAD	COSTO (USD)	
Cloruro férrico (coagulante)	kg	504.16	1	\$ 11.75	\$ 5,921.64
Praestol 853 (floculante)	kg	3.78	25	\$ 32.83	\$ 4.97
Hipoclorito de sodio	L	3.13	10	\$ 12.31	\$ 3.85
Hidróxido de sodio	kg	157.55	5	\$ 39.67	\$ 1,250.05

### 8.2.2. Energía eléctrica

El costo mensual del consumo de energía eléctrica del proyecto se obtiene en base al cuadro tarifario de EDET S.A. vigente desde el 22 de septiembre de 2023 (EDET, 2020). El cálculo se realiza según la Tarifa 2 correspondiente a medianas demandas. En el mismo se indican tres conceptos: cargo fijo sin derecho a consumo; por capacidad de suministro; y cargo por energía. El primero es un cargo fijo que el consumidor debe abonar independientemente de la cantidad de electricidad que consuma. El segundo representa la capacidad máxima de suministro eléctrico que el consumidor puede requerir en un mes dado. Por último, el tercero es el costo que debe abonar el consumidor por cada kilovatio-hora (kWh) de electricidad que consume. En la tabla 35, se observa un extracto del cuadro tarifario que aplica en este caso.

**Tabla 35.** Extracto del cuadro tarifario para medianas demandas (Tarifa 2) vigente desde el 22 de septiembre de 2023 de la empresa EDET S.A. Fuente: EDET, 2020.

CONCEPTO	UNIDAD	COSTO (USD)
Cargo fijo sin derecho a consumo	\$/mes	\$ 14.29
Por capacidad de suministro	\$/kW-mes	\$ 7.97
Cargo por energía	\$/kWh	\$ 0.08

El costo mensual del servicio de energía eléctrica se obtiene multiplicando el consumo energético de los equipos utilizados en la planta de tratamiento de efluentes líquidos, (tabla 36) por el costo del servicio según el cuadro tarifario mencionado anteriormente.

**Tabla 36.** Consumo energético de los equipos utilizados en la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Fuente: elaboración propia.

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (Kw)	HORAS DE FUNCIONAMIENTO	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
Soplador modelo R100 (Repicky)	1	0.37	24.00	8.88	266.40
Soplador modelo R200 (Repicky)	2	5.14	24.00	246.72	7401.60
Agitador liviano de turbina (Crismet)	2	0.55	24.00	26.40	792.00
Bomba dosificadora electrónica (Hasa)	3	0.75	12.00	27.00	810.00
Bomba sumergible para aguas residuales, modelo Minipaf (Hasa)	7	3.34	24.00	561.12	16833.60
Bomba sumergible para achique y drenaje, modelo Supersand (Hasa)	2	1.10	12.00	26.40	792.00
Deshidratador de prensa de tornillo multidisco	1	4.50	4.00	18.00	540.00

### 8.2.3. Mano de obra

El personal requerido para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos consta de: un Ingeniero/a Ambiental que es el responsable de la planta; un operario de planta, el cual se encarga de realizar las tareas diarias de la misma; un técnico químico, el cual se ocupa de realizar los análisis diarios en el laboratorio; y un Licenciado en Seguridad e Higiene, el cual se encarga de proteger la integridad física y la salud de los trabajadores y de minimizar los riesgos asociados a las operaciones de la planta.

En la tabla 37, se lista el personal requerido y sus correspondientes honorarios en pesos argentinos, los cuales incluyen los aportes y contribuciones que debe abonar el empleador y el empleado.

**Tabla 37.** Personal requerido y sus correspondientes honorarios.

Fuente: elaboración propia.

EMPLEADO	HONORARIOS (USD)
Ingeniero ambiental	\$ 3,173.73
Técnico químico	\$ 1,983.58
Operario de planta	\$ 1,983.58
Licenciado en Seguridad e Higiene	\$ 2,181.94

### 8.2.4. Gestión de lodos

Los lodos provenientes de la unidad DAF son considerados residuos peligrosos, bajo la categoría Y18: Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales, según la Ley N°6.605 y su modificatoria. Por lo tanto, en el presupuesto de la gestión de lodos se incluye el transporte de los mismos desde la planta hacia el operador

habilitado para su tratamiento, el tratamiento en sí y la disposición final de los mismos. En la tabla 38, se detallan los costos asociados a la gestión de lodos.

**Tabla 38.** Costos asociados a la gestión de lodos.

*Fuente: elaboración propia.*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (kg/mes)	COSTO (USD)	
			UNITARIO	PARCIAL
Transporte de lodos	tn	6.43	\$ 766.07	\$ 246.29
Tratamiento y disposición de lodos	kg	6428.04	\$ 0.49	\$ 3,165.66

#### 8.2.5. Mantenimiento y gastos imprevistos

El mantenimiento y los gastos imprevistos incluyen una serie de actividades para garantizar una correcta operación de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

El primer término implica la planificación y ejecución periódica de las tareas preventivas, ya sea limpieza, inspección y calibración de equipos, o la reparación de componentes desgastados. En cambio, el segundo término hace referencia a los costos inesperados que surgen como consecuencia de eventos no planificados, por ejemplo, averías, accidentes o cambios regulatorios. Se destina un 10% de la inversión inicial para cubrir los costos relacionados a mantenimiento y gastos imprevistos (ver tabla 39).

#### 8.2.6. Costo mensual de operación y mantenimiento

En la tabla 39 se puede observar un detalle de los costos mencionados en la sección 8.2, los cuales conforman el costo mensual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Al día 16 de octubre de 2023, dicho costo es de USD \$73.114,04 (Dólares estadounidenses setenta y tres mil ciento catorce con cuatro centavos).

**Tabla 39.** Costo mensual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Fuente: elaboración propia.

ÍTEM N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (USD)		COSTO TOTAL (USD)	% DE INCIDENCIA
				UNITARIO	PARCIAL		
1	Insumos químicos					\$ 7,180.51	9.82
1.1	Cloruro férrico (coagulante)	kg	504.16	\$ 11.75	\$ 5,921.64		
1.2	Praestol 853 (floculante)	kg	3.78	\$ 32.83	\$ 4.97		
1.3	Hipoclorito de sodio	L	3.13	\$ 12.31	\$ 3.85		
1.4	Hidróxido de sodio	kg	157.55	\$ 39.67	\$ 1,250.05		
2	Energía eléctrica					\$ 2,341.71	3.20
2.1	Cargo fijo sin derecho a consumo	\$/mes	1	\$ 14.29	\$ 14.29		
2.2	Por capacidad de suministro	\$/kW-mes	1	\$ 7.97	\$ 7.97		
2.3	Cargo por energía	\$/kWh	27435.60	\$ 0.08	\$ 2,319.45		
3	Mano de obra					\$ 9,322.85	12.75
3.1	Ingeniero ambiental	Empleado	1	\$ 3,173.73	\$ 3,173.73		
3.2	Técnico químico	Empleado	1	\$ 1,983.58	\$ 1,983.58		
3.3	Operario de planta	Empleado	1	\$ 1,983.58	\$ 1,983.58		
3.4	Licenciado en Seguridad e Higiene	Empleado	1	\$ 2,181.94	\$ 2,181.94		
4	Gestión de lodos					\$ 3,411.95	4.67
4.1	Transporte de lodos	tn	6.43	\$ 766.07	\$ 246.29		
4.2	Tratamiento y disposición de lodos	kg	6428.04	\$ 0.49	\$ 3,165.66		
5	Mantenimiento y gastos imprevistos					\$ 50,857.03	69.56
5.1	Mantenimiento general e imprevistos	gl	1	\$ 50,857.03	\$ 50,857.03		
<b>COSTO MENSUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (USD)</b>						<b>\$ 73,114.04</b>	

### 8.2.7. Costo unitario de operación y mantenimiento

El costo unitario hace referencia al costo del tratamiento por metro cúbico de efluente, el cual se obtiene dividiendo el costo mensual de operación y mantenimiento por el volumen mensual generado de efluente industrial y cloacal multiplicado por 30 días. El mismo resulta de USD \$4,15 (Dólares estadounidenses cuatro con quince centavos). En la tabla 40 se muestran dichos costos y el costo de inversión inicial requerido.

**Tabla 40.** Costo de inversión inicial, de operación y mantenimiento, y del tratamiento por metro cúbico de efluente líquido de la industria citrícola. Fuente: elaboración propia.

COSTO DE INVERSIÓN INICIAL (USD)	COSTO MENSUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (USD)	COSTO DE TRATAMIENTO POR M3 DE EFLUENTE (USD)
\$ 508,570.32	\$ 73,114.04	\$ 4.15

### 8.2.8. Financiamiento del proyecto

Para poder realizar el proyecto, es imprescindible solicitar un crédito que permita financiar el costo de inversión inicial del mismo. En Argentina, en el marco del programa "CreAR Inversión Proyectos Estratégicos", las medianas y grandes empresas dedicadas a la actividad industrial, agroindustrial y de servicios industriales, pueden acceder a un crédito del Banco de la Nación Argentina. El crédito está destinado para financiar proyectos de inversión productiva para la compra de bienes de capital y construcción de instalaciones necesarias para la producción.

El monto mínimo que se puede solicitar es de \$150 millones y el máximo de \$2.000 millones. Cuenta con un plazo de devolución de hasta 5 años, incluido el periodo de gracia

---

que es de 6 meses. Para el caso de las empresas medianas, durante los primeros 24 meses la tasa es fija y se rige por la reglamentación 780 del BNA y posee una bonificación del FONDEP (Fondo Nacional de Desarrollo Productivo) de 33 puntos porcentuales anuales. Luego, la tasa es BADLAR<sup>7</sup>, con una bonificación variable máxima de 28 puntos porcentuales anuales. Se puede financiar hasta el 80% del proyecto presentado, mientras que, el 20% restante será financiado por la empresa beneficiaria del crédito (Argentina.gob.ar, s/f).

Para acceder al crédito se evalúan los siguientes criterios: impacto en la generación de divisas (más exportaciones/sustitución de importaciones); generación de nuevos puestos de trabajo; incorporación de tecnología de frontera; inclusión de perspectiva de género; promoción del cuidado del medioambiente, incorporación o impulso energías renovables; composición de la inversión en favor de inversión de capital.

---

<sup>7</sup> Tasa de interés pagada por depósitos a plazo fijo de más de un millón de pesos, por el promedio de entidades financieras (Banco Central de la República Argentina, 2023).

## 9. Estudio de Impacto Ambiental

### 9.1. Resumen ejecutivo

El presente Estudio de Impacto Ambiental concierne al proyecto del emplazamiento de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria citrícola, en un lote de aproximadamente 15 Ha en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán, Argentina. En el análisis del proyecto, se consideraron las etapas constructiva, operativa y de cierre del mismo.

El área de influencia de un proyecto, es la zona en donde se manifiestan los posibles impactos ambientales ocasionados por sus actividades. En este caso, se consideró un área de influencia directa de aproximadamente 664 Ha alrededor del predio. Mientras que, el área de influencia indirecta abarca el municipio de Bella Vista y aguas abajo del Río Salí.

La línea de base realizada comprende una descripción del medio ambiente físico (caracterización climática, calidad del aire, medición del nivel de ruido, aspectos hidrológicos, geología y geomorfología, topografía y edafología), del medio ambiente biológico (ecorregión, flora, fauna y áreas protegidas) y del medio ambiente socioeconómico (demografía, servicios públicos, salud, educación, empleo, transporte y conectividad, y actividades económicas).

Se determinó que los componentes ambientales que pueden ser afectados debido al desarrollo del proyecto son: agua (subterránea y superficial), aire (calidad del aire y nivel de ruido), suelo (topografía y propiedades físicas), flora (porcentaje de cobertura vegetal), fauna (cantidad y diversidad de especies), y generación de empleo, servicios públicos para la población (energía eléctrica), infraestructura vial y paisaje, que se encuentran dentro del medio ambiente socioeconómico.

Sin embargo, no todos los componentes ambientales se ven perjudicados de la misma manera. Con el uso del método combinado de Vicente Conesa Fernández-Vítora, se determinó que los impactos negativos medios, corresponden a la afectación de la calidad del aire en la etapa operativa; al incremento del nivel de ruido en las etapas constructiva y de cierre; a la modificación de la topografía y propiedades físicas del suelo durante la etapa constructiva; al consumo de energía eléctrica en la etapa operativa; y a la afectación del paisaje en la etapa constructiva. El resto de los impactos en las diferentes etapas del proyecto, son considerados leves.

Para hacer frente a los impactos ambientales negativos, se elaboró un Plan de Gestión Ambiental y Social con los siguiente programas: Programa de prevención y mitigación de impactos ambientales; Programa de gestión de residuos y efluentes; Programa de seguridad industrial y salud ocupacional; Programa de capacitación técnico-ambiental; Plan de contingencias; Programa de cierre y abandono; Programa de monitoreo, control y seguimiento.

En cuanto a los riesgos ambientales que posee el proyecto, se encuentran: enfermedades ocupacionales, explosiones, incendios, derrames de sustancias peligrosas y accidentes laborales. Los más relevantes corresponden a enfermedades ocupacionales, incendios y accidentes laborales. Por lo tanto, es fundamental aplicar correctamente el plan de contingencias.

Como conclusión del presente Estudio, se determinó que los impactos ambientales negativos a causa del desarrollo del emprendimiento, pueden ser prevenidos, reducidos o remediados al implementar el Plan de Gestión Ambiental y Social propuesto. Por lo tanto, el proyecto de emplazamiento de la planta de tratamiento de efluentes líquidos de una industria citrícola es ambientalmente viable.

## 9.2. Introducción

El presente Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) tiene como objetivo estudiar la viabilidad del emplazamiento y funcionamiento de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria citrícola en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, (provincia de Tucumán, Argentina), desde el punto de vista ambiental y social, teniendo en cuenta diferentes aspectos de gestión para que el proyecto se pueda desarrollar afectando de la menor manera posible al ambiente.

El alcance del mencionado EsIA corresponde a que la empresa cumpla debidamente la legislación ambiental vigente a nivel supranacional, nacional y provincial (ver Tabla I del Anexo I) en las etapas de construcción, operación y cierre de la misma. Por lo tanto, el alcance incluye: la descripción del proyecto; la caracterización ambiental del área de influencia del proyecto; la identificación y valoración de los impactos ambientales; las medidas para gestionar los impactos ambientales negativos; y un Plan de Gestión Ambiental y Social con diferentes programas para el cuidado del medio ambiente y de la salud y seguridad de los trabajadores y de la comunidad.

### 9.3. Descripción técnica del proyecto

#### 9.3.1. Etapa constructiva

La etapa constructiva de la fábrica se estima en 12 meses de duración y estará a cargo de una empresa constructora. Abarca las tareas de limpieza y despeje del terreno (retiro de vegetación y obstrucciones); el movimiento de suelo (excavación, nivelación y relleno) con la maquinaria necesaria; el montaje y funcionamiento del obrador; la recepción y ubicación dentro del predio de los materiales de construcción; la realización de la instalación eléctrica y sanitaria; la construcción de la infraestructura; y por último, la parquización y forestación del predio de la fábrica. Es importante resaltar que, todas estas acciones conllevan el tráfico de vehículos y maquinaria de construcción.

#### 9.3.2. Etapa operativa

La etapa operativa consta en el funcionamiento y mantenimiento periódico de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. En principio, se estima un tiempo de vida útil de la misma de 20 años.

Tal como se describe en la sección 6, la planta consta del pretratamiento, el tratamiento primario, secundario y terciario, y por último, el tratamiento de lodos.

El pretratamiento incluye un sistema de rejas medias y finas de limpieza manual para el efluente industrial y cloacal, respectivamente, y un tanque de compensación. El tratamiento primario está compuesto por una cámara de coagulación, una cámara de floculación y la unidad de flotación por aire disuelto (DAF). El tratamiento secundario consta de una laguna anaerobia seguido de dos lagunas facultativas. Luego, el efluente es dirigido hacia el tratamiento terciario, en donde se encuentra una cámara de desinfección con hipoclorito de sodio. Por último, el líquido tratado atraviesa una cámara de extracción de muestras y medición de caudales, y luego se descarga en el Río Salí.

Respecto al tratamiento de lodos, se utiliza el equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco. Previo y posterior a su deshidratación, el lodo se coloca en tanques de almacenamiento.

#### 9.3.3. Etapa de cierre

En la etapa de cierre, con una duración estimada de 12 meses, la empresa constructora realiza todas aquellas tareas para la restitución de las características originales del predio en donde se emplazó el proyecto.

Dentro de esta etapa se incluyen las siguientes tareas: el desmantelamiento de las instalaciones (equipos y amoblamiento); la demolición total de la infraestructura; el retiro de insumos, productos terminados y residuos; y la recomposición del paisaje. En esta última tarea, se realiza una limpieza del predio, se vacían las lagunas, se nivela el suelo y se plantan especies nativas.

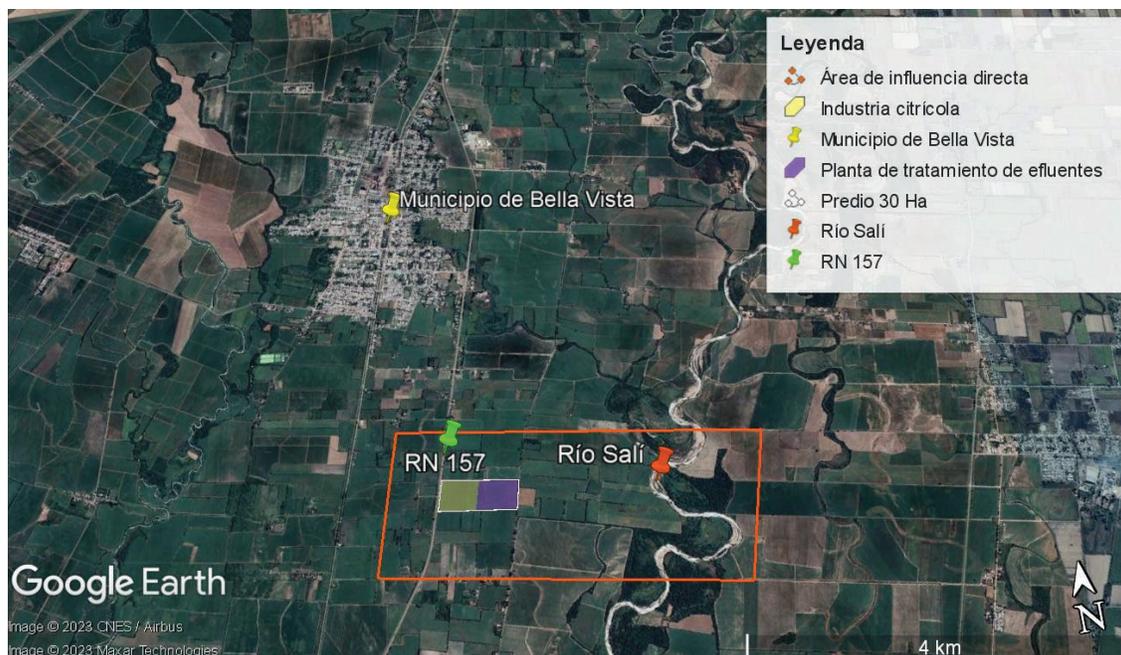
Los distintos tipos de residuos (comunes, reciclables, especiales y de demolición y construcción) serán retirados, transportados y debidamente tratados por empresas autorizadas para dichas tareas.

## 9.4. Caracterización ambiental del área de influencia del proyecto

### 9.4.1. Determinación del área de influencia del proyecto

El **área operativa** del proyecto corresponde únicamente al lote en donde se emplaza la planta de tratamiento de efluentes líquidos, el cual se puede observar en color violeta en la figura 23. El área de influencia directa (en color naranja) incluye el predio en donde se desarrolla la actividad y un área de aproximadamente 664 Ha alrededor del mismo. En dicha superficie se encuentra:

- El Río Salí a 1,45 km hacia el este del predio del proyecto.
- El centro del municipio de Bella Vista a 4,5 km hacia el norte del predio del proyecto.
- Construcciones dedicadas al cultivo de frutas u hortalizas entre 0,30 a 1,30 km hacia el oeste del predio del proyecto.



**Figura 23.** Área de influencia directa (en color naranja) de la planta de tratamiento de efluentes líquidos ubicada en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán.

Fuente: elaboración propia con el programa Google Earth.

El **área de influencia indirecta** comprende el municipio de Bella Vista, ya que recibe la mayor parte de los impactos al generar presión sobre el servicio público de energía eléctrica y la disponibilidad de agua de pozo. Además, es el principal proveedor de mano de obra, bienes y servicios al proyecto, derivando en cambios socioeconómicos en el municipio. El área de influencia indirecta también comprende aguas abajo del Río Salí debido al movimiento de los efluentes industriales tratados que se vuelcan allí.

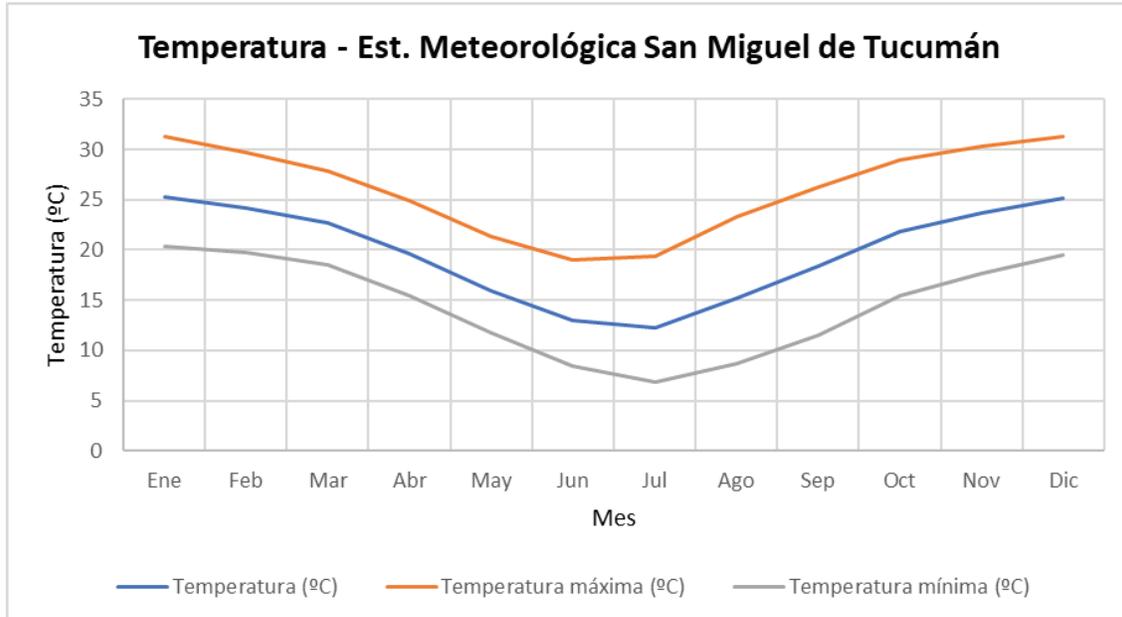
#### 9.4.2. Medio ambiente físico

##### 9.4.2.1. Caracterización climática

Los datos de las variables atmosféricas que se describen a continuación corresponden a la Estación Meteorológica Tucumán AERO, ubicada en el Aeropuerto Internacional Teniente Benjamín Matienzo, localidad de Cevil Pozo, comuna de Delfín Gallo, a 9 km del centro de la capital provincial. La misma se encuentra a aproximadamente 32 km del área de estudio, y los datos corresponden al periodo 1991-2020.

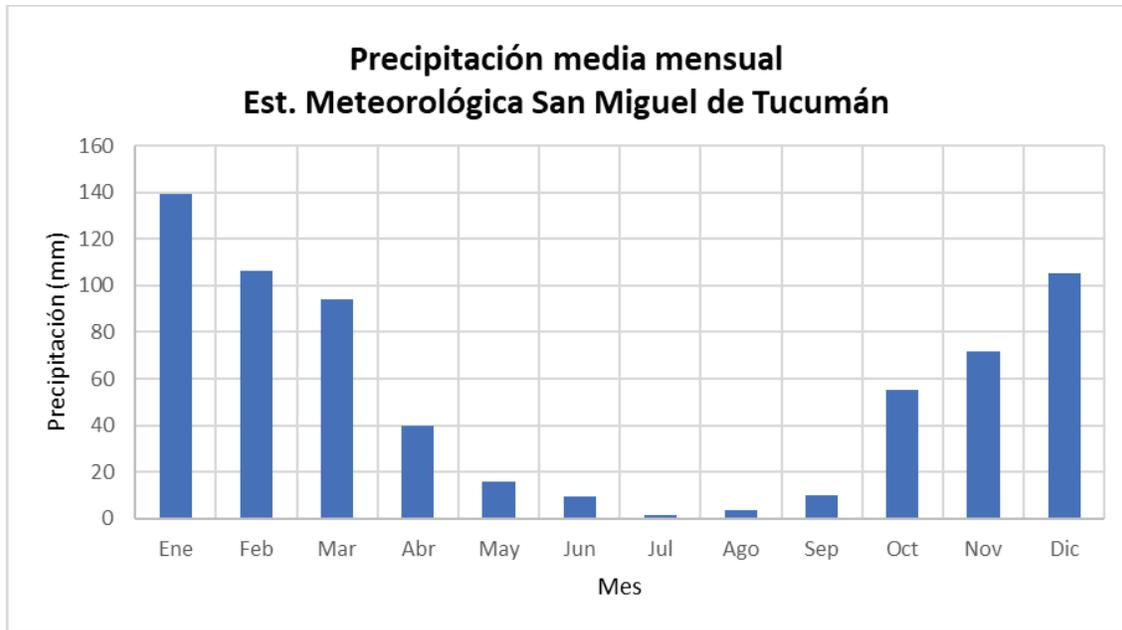
**Temperatura:** la temperatura media anual registrada en la estación meteorológica mencionada es de 19,8°C. En verano, la temperatura promedio del mes más cálido (enero) es de 25,3°C y del mes más frío (julio) es de 12,3°C. En la figura 24, se muestra un gráfico

de la temperatura media, mínima y máxima mensual en la Estación Meteorológica Tucumán AERO.



**Figura 24.** Temperatura media, mínima y máxima mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO. Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.

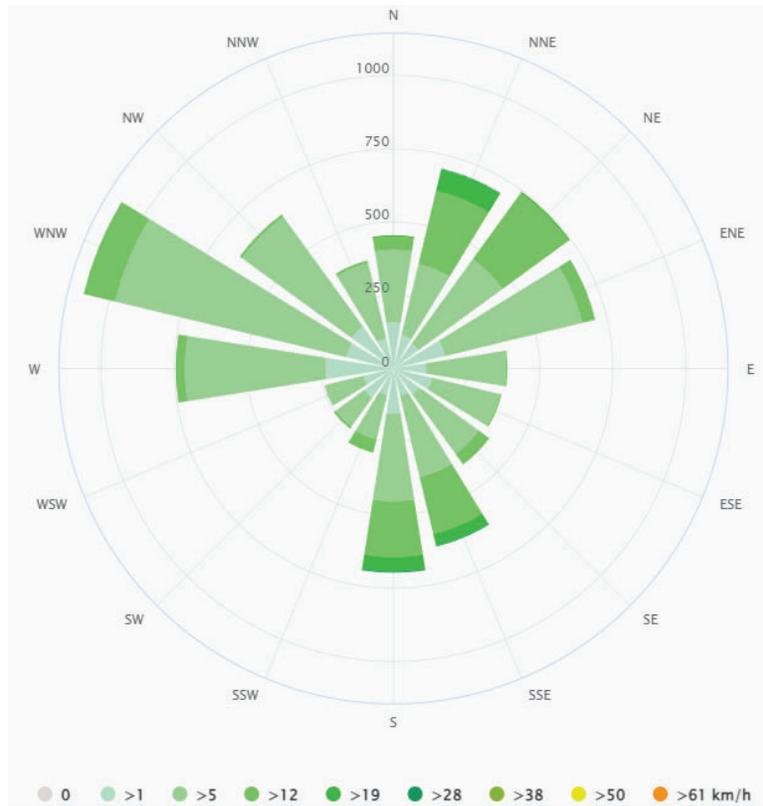
**Precipitación:** la precipitación anual promedio resulta ser de 54,4 mm. El mes del año que presenta mayor registro de precipitación acumulada es el mes de enero con 139,3 mm, mientras que, el mes de mayo se corresponde con el mes menos lluvioso, con 1,6 mm. En promedio hay 4,4 días lluviosos al mes, siendo los meses de enero, marzo y diciembre los que presentan mayores días de precipitación, y julio y agosto, los meses que presentan menor cantidad de días lluviosos. En la figura 25, se muestra un gráfico de la precipitación media mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.



**Figura 25.** Precipitación media mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.

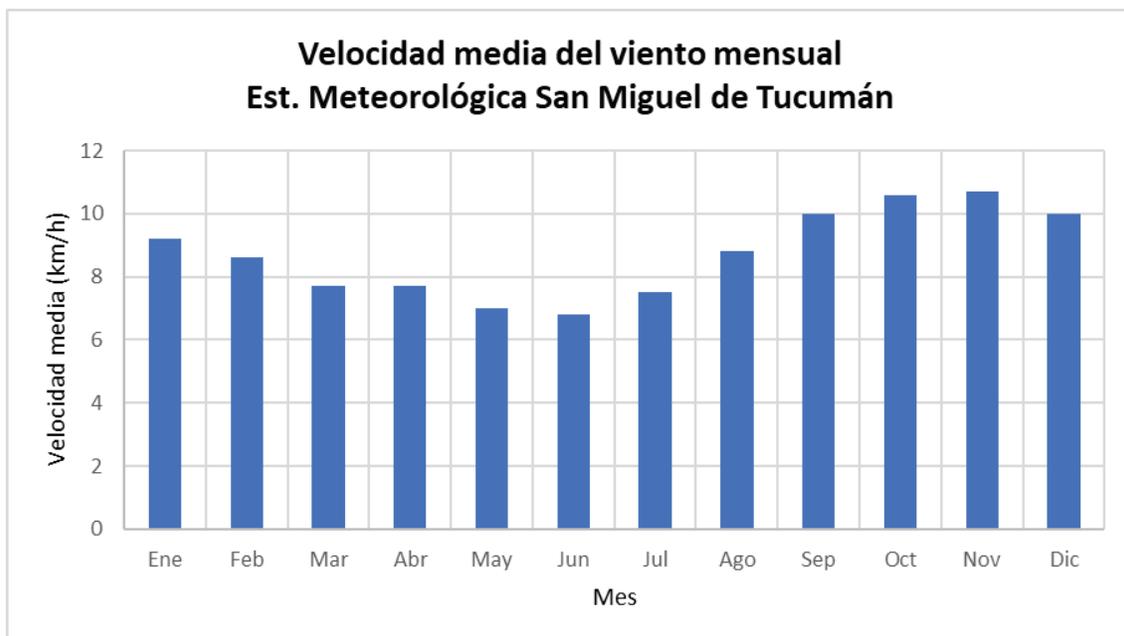
Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.

**Vientos predominantes:** en la figura 26, se puede observar la rosa de los vientos correspondiente a San Miguel de Tucumán basada en datos obtenidos durante 30 años de simulaciones de modelos meteorológicos. En dicha figura se observa que la dirección predominante de los vientos es Oeste-Noroeste, y en menor medida, del Oeste y Noreste. La intensidad media anual del viento es de 8,7 km/h, en donde los mayores valores ocurren en noviembre y los menores en junio. En la figura 27, se muestra un gráfico de la velocidad media del viento mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.



**Figura 26.** Rosa de los vientos de San Miguel de Tucumán..

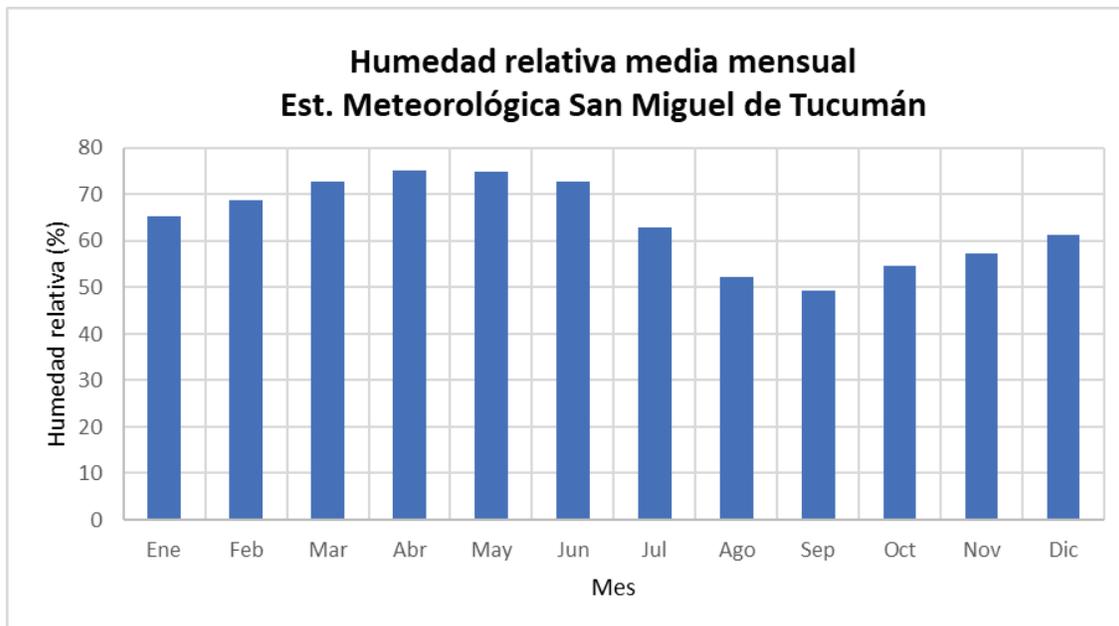
Fuente: Meteoblue (2023).



**Figura 27.** Velocidad media del viento mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.

Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.

**Humedad relativa:** la humedad relativa promedio es de 64,0%, presentando el valor más alto en el mes de abril (75,3%) y el valor más bajo en el mes de septiembre (49,2%). En la figura 28, se puede observar el gráfico de la humedad relativa media mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.



**Figura 28.** Humedad relativa media mensual en la Estación Meteorológica de Tucumán AERO.

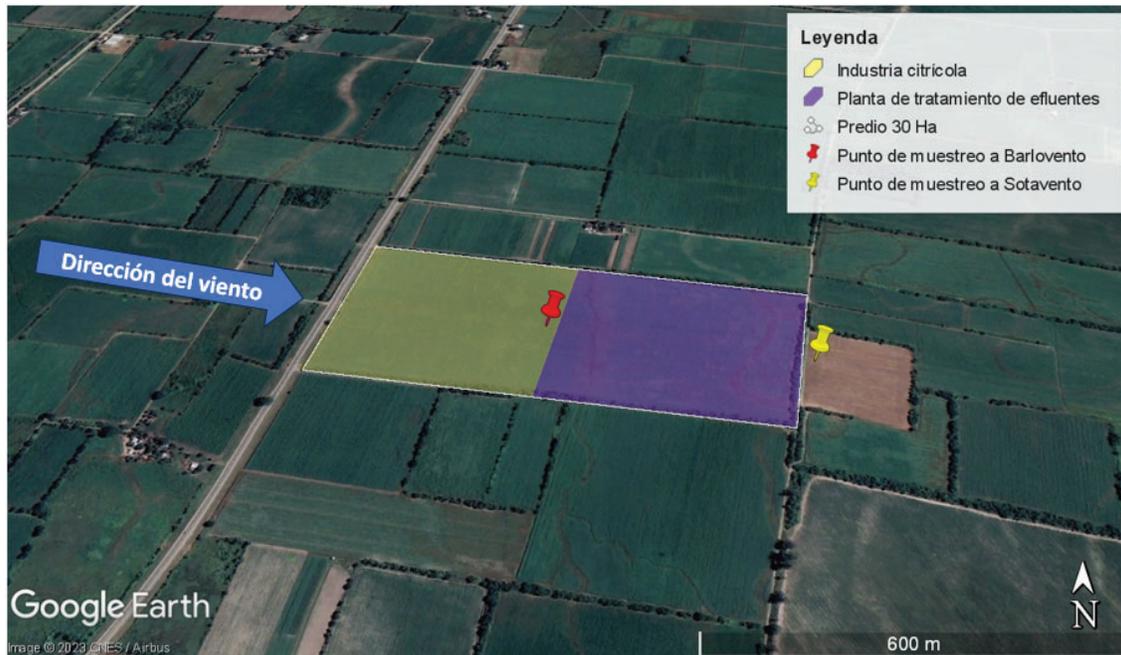
*Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.*

**Presión atmosférica:** al nivel de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, 2023), la media anual es de 955,6 hPa, mientras que, la máxima y mínima media es de 959,1 y 952,1 hPa, respectivamente.

**Clasificación climática:** según la clasificación climática de Köppen, la zona se encuentra dentro del clima "Subtropical húmedo".

#### 9.4.2.2. Calidad del aire

Debido a que no se cuenta con información sobre la calidad del aire en el predio en donde se ubica el proyecto, se propone contratar un laboratorio autorizado para realizar el análisis requerido en dos puntos linderos al predio, a barlovento y a sotavento, los cuales pueden observarse en la figura 29. Se deben estudiar los siguientes contaminantes criterio: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado con diámetro entre 2.5 y 10 µm (MP<sub>10</sub>). Los resultados obtenidos se compararon con los máximos admisibles establecidos en la ley N° 20.284 de Contaminación Atmosférica.

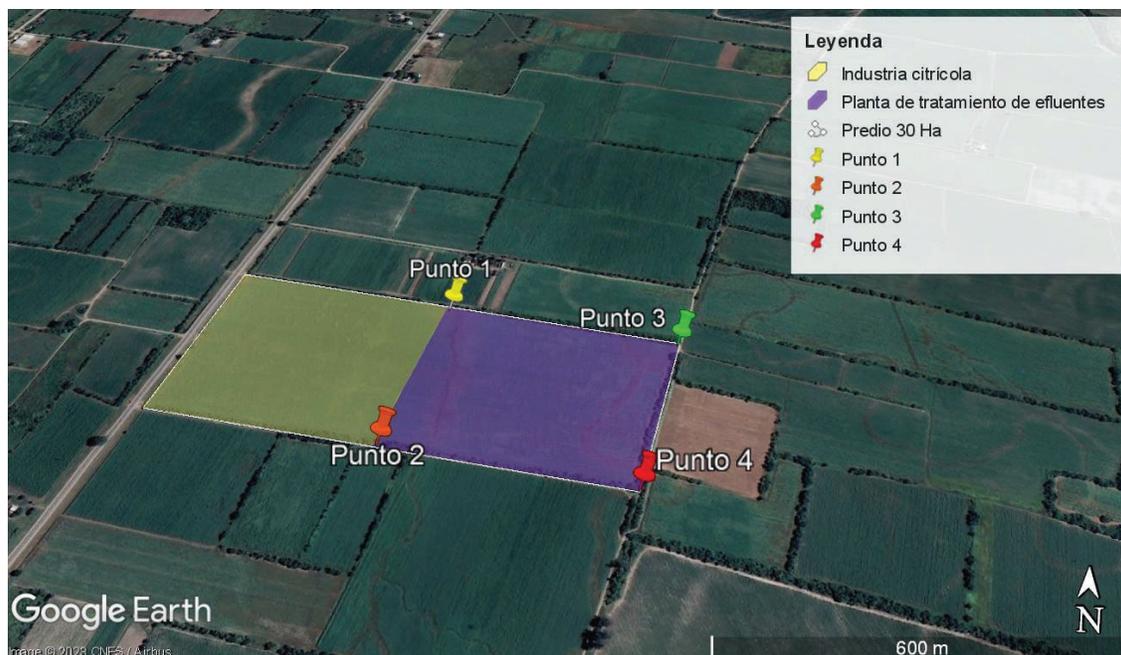


**Figura 29.** Puntos de muestreo propuestos para el monitoreo de calidad del aire.

*Fuente: elaboración propia con el programa Google Earth.*

#### 9.4.2.3. Medición del nivel de ruido

Debido a que no se cuenta con información sobre el nivel de ruido en el predio del proyecto, se deben realizar las correspondientes mediciones. Para ello se proponen 4 puntos de medición dentro del predio (figura 30) por la mañana, tarde y noche, siguiendo la metodología de la Norma IRAM 4062/2016 “Ruidos molestos al vecindario”.



**Figura 30.** Puntos de medición de ruido propuestos.

Fuente: elaboración propia con el programa Google Earth.

#### 9.4.2.4. Hidrología superficial

El predio en donde se emplaza el proyecto pertenece a la cuenca del Río Salí-Dulce, cuya descripción se realiza en la sección **4.3.2. Cuenca del Río Salí-Dulce** del presente documento.

#### 9.4.2.5. Hidrología subterránea

En la cuenca hidrogeológica del Río Salí-Dulce, se definen tres tipos de acuíferos en base a perfiles de perforaciones: el acuífero libre, el confinado y el semiconfinado.

El **acuífero libre** se encuentra en los sedimentos loésicos que cubren gran parte de la llanura del este. En las cercanías de las Sierras de San Javier, la profundidad del acuífero freático oscila entre los 20 y 30 m (Tineo & García, 1996), mientras que, hacia las proximidades del Río Salí, la profundidad del mismo disminuye hasta alcanzar valores cercanos a los 3 m.

En el sudeste, la profundidad del acuífero libre tiene una profundidad que puede variar entre los 3 y 36 m (Warren et al, 2005) debido a la distribución de las precipitaciones. En el noreste, el acuífero libre es explotado mediante perforaciones domésticas, como consecuencia de la falta de una red de distribución de agua potable.

En cuanto a la calidad del agua de este acuífero, el mismo presenta elevadas concentraciones de arsénico. La concentración de este mineral en los pozos someros (de hasta 40 m), supera el límite establecido por el Código Alimentario Argentino para aguas de consumo que es de 50 ug/L, llegando a alcanzar los 1000 ug/L en ciertas zonas (CAA, 1994). El flúor también se encuentra en concentraciones que superan el límite máximo recomendado para aguas de consumo, el cual es de 1,5 mg/L, llegando a detectarse en la zona de Los Pereyra, concentraciones de entre 0,05 y 8,30 mg/L.

El **acuífero semiconfinado** corresponde a gravas y arenas fluviales depositadas por el Río Salí y presenta un espesor de hasta 150 m. La recarga del mismo ocurre por la infiltración de las lluvias y por la infiltración directa de las aguas del mencionado Río. Hacia el este, estos depósitos también contienen el material loésico que cubre la llanura en los primeros 30 m.

El **acuífero confinado** se encuentra entre los 30 y los 400 m de profundidad donde los niveles arenosos y permeables se intercalan con niveles arcillosos y limoarcillosos impermeables. La recarga del mismo se produce principalmente por la percolación del agua de lluvia a lo largo del área pedemontana de las Sierras de San Javier y en menor proporción en la zona pedemontana de las Sierras de Medina.

#### 9.4.2.6. Calidad del agua superficial

Las actividades antrópicas que se realizan en la cuenca del Río Salí-Dulce han afectado negativamente a la calidad del agua del río, tal como se describe en la sección **4.3.2 Cuenca del Río Salí-Dulce**. En la tabla 41, se muestra el promedio de los valores medios de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los diferentes sitios de muestreo según un estudio realizado por Martínez De Marco et al (2007).

**Tabla 41.** Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos estudiados del Río Salí.

Fuente: Martínez De Marco et al, 2007.

PARÁMETRO	VALOR	PARÁMETRO	VALOR
Profundidad (cm)	25,10	Bicarbonato (mg/L)	206,80
Temperatura (°C)	22,90	Cloruro (mg/L)	70,30
pH	7,70	Calcio (mg/L)	50,10
Sólidos totales (mg/L)	1149,00	Magnesio (mg/L)	9,40
Turbidez (NTU)	156,50	Sodio (mg/L)	90,30

Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	617,00	Potasio (mg/L)	4,10
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,10	Nitrato (mg/L)	3,40
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	20,40	Nitrito (mg/L)	0,01
Sulfato (mg/L)	102,80	Amonio (mg/L)	0,30
Manganeso ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	15,40	Ortofosfato (mg/L)	0,20

#### 9.4.2.7. Calidad del agua subterránea

Previo a la implantación del proyecto, se debe realizar un muestreo del acuífero para evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea. El mismo se lleva a cabo mediante pozos de monitoreo o freatómetros que pueden ser colocados en los pozos para realizar el muestreo de suelo. Para la realización de este estudio, se siguen los lineamientos de la norma IRAM 29012-11 sobre Muestreo de Aguas Subterráneas y la ubicación de los puntos de muestreo será estudiada por un profesional en Geología.

#### 9.4.2.8. Geología y geomorfología

La cuenca del Río Salí-Dulce es parte de una depresión estructural rellena con unos 3000 m de sedimentos terciarios y cuaternarios. Los primeros 30 m de la misma consisten en sedimentos loésicos<sup>8</sup> que contienen una gran cantidad de vidrio volcánico y plagioclasas, y en menor medida, cuarzo y carbonato. A esta franja se la denomina Formación Tucumán (Bonaparte & Bobovniqov, 1974). En las cercanías al Río Salí, estos sedimentos también contienen sedimentos gravosos y arenosos depositados por dicho cuerpo de agua. Por debajo de la cubierta loésica se encuentran sedimentos cuaternarios formados por depósitos aluviales<sup>9</sup>.

Al pie de la sierra de San Javier, predominan materiales gruesos con partículas arcillosas y limo-arcillosas muy delgadas que hacia el este se convierten en materiales más finos. Los sedimentos terciarios se consideran como el basamento hidrogeológico de la región, ya que presentan una permeabilidad de moderada a baja y contienen una gran cantidad de sales solubles, por lo tanto, los acuíferos de esta zona cuentan con agua de mala calidad (Tineo & García, 1996).

<sup>8</sup> Los sedimentos loésicos son depósitos sedimentarios limosos de origen eólico.

<sup>9</sup> Los depósitos aluviales se producen por el avance de residuos granulares que se extienden desde la base de una montaña hacia una zona llana ubicada en un nivel topográfico menor.

---

#### 9.4.2.9. Topografía

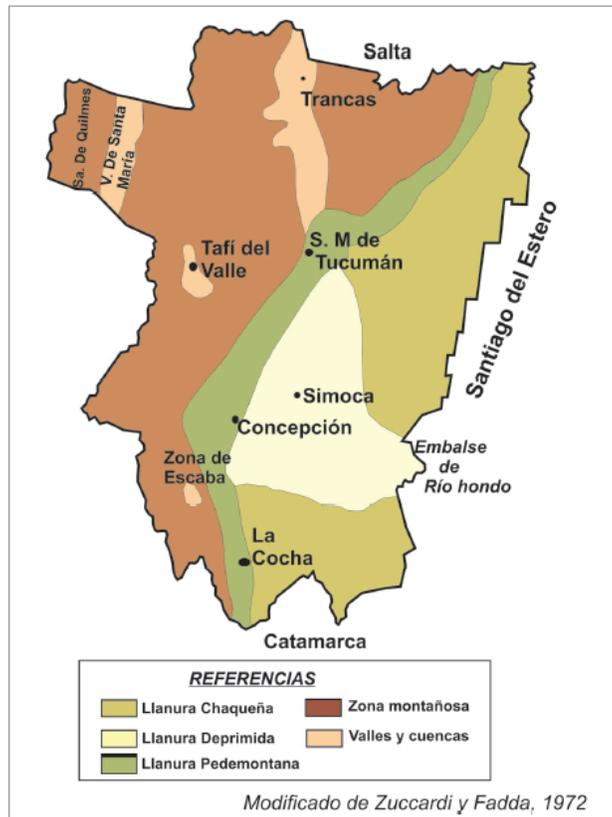
La provincia de Tucumán presenta tres relieves principales: llanura, montañas y cuencas y valles inter e intramontanos.

La llanura ocupa el sector oriental de la provincia, extendiéndose desde el límite con la provincia de Santiago del Estero al este, hasta los cordones montañosos del oeste y del noreste de la provincia (Sierras Pampeanas y Cordillera Oriental). Esta unidad se divide a su vez en llanura Chaqueña ocupando el este de la provincia; llanura Deprimida al centro-sudeste y Pedemonte, hacia el oeste de las anteriores, ocupando el centro de la provincia y limitando con los cordones montañosos por el oeste y noreste.

La región montañosa ocupa la porción centro-oeste de la provincia, con dirección predominante norte-sur, integrada por la Cordillera Oriental al nordeste, el sistema de Aconquija y Cumbres Calchaquíes (Sierras Pampeanas), que ocupan casi la mitad oeste y las Sierras del Sudoeste tucumano.

El tercer tipo de relieve, está integrado por el valle de Santa María o Calchaquí, la cuenca Tapia–Trancas, el valle de Tafí y el valle de la zona del Embalse de Escaba.

El municipio de Bella Vista, en donde se ubica el predio del proyecto, se encuentra en la llanura pedemontana, tal como se puede observar en la figura 31.



**Figura 31.** Unidades fisiográficas de la provincia de Tucumán.

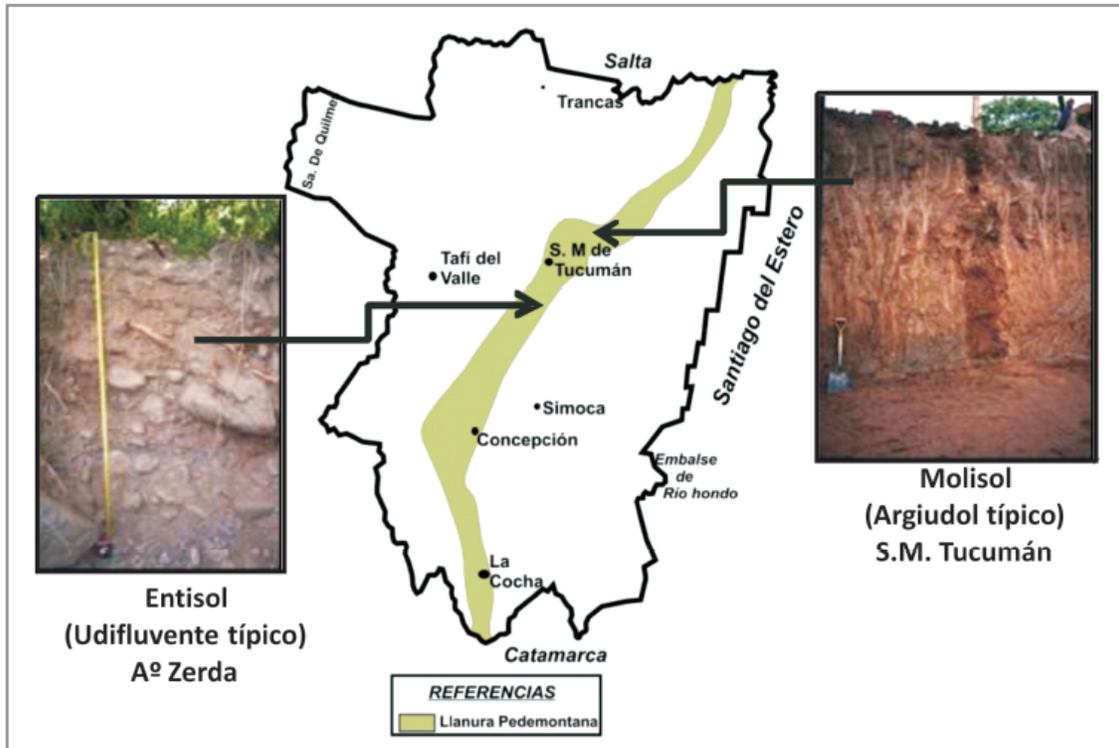
*Fuente: Puchulu & Fernández (2014).*

#### 9.4.2.10. Edafología

Como se mencionó anteriormente, la zona en donde se ubica el predio del proyecto, corresponde a la llanura pedemontana. La misma hace referencia al sector pedemontano oriental ubicado al pie de las sierras del Sudoeste, Sierra del Aconquija, Sierra de San Javier y Sierras del Nordeste de la provincia de Tucumán (figura 32). Cuenta con una gran producción agrícola y con dos tipos de suelos muy diferentes.

Uno de ellos es el más evolucionado de la provincia, es profundo (más de 3 m de espesor), presenta una clara horizontalización, están enriquecidos en carbono orgánico, pH neutro a ligeramente ácido y tiene texturas predominantemente finas (franco arcillosa). Está representado principalmente por Molisoles (subgrupos Argiudoles típicos, Hapludoles típicos y taptó árgicos).

El otro tipo de suelo es el menos desarrollado, y está asociado a lomadas bajas del piedemonte, zonas de conos aluviales y vías de escurrimiento menores. Está representado por Molisoles (Hapludoles énticos y Haplustoles énticos).



**Figura 32.** Ubicación de la llanura pedemontana y perfiles de suelo típicos.

Fuente: Puchulu & Fernández (2014).

#### 9.4.2.11. Muestreo de suelo

Previo a la implantación del proyecto, se debe realizar un muestreo de suelo, con el fin de evaluar las características del mismo. El mismo se lleva a cabo según los lineamientos de la Guía de Bolsillo de Campo de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), EPA/625/12-91/002. La ubicación de los puntos de muestreo será estudiada por el profesional en Geología.

#### 9.4.3. Medio ambiente biológico

##### 9.4.3.1. Ecorregión

En la provincia de Tucumán se pueden encontrar cuatro grandes ecorregiones<sup>10</sup>: Altoandina, Monte, Chaco y Yungas. Las mismas se pueden observar en la Figura VI del Anexo V. Asimismo, alternados con estos ambientes naturales, y cubriendo gran parte de la superficie de la provincia, se observan ambientes transformados por el hombre: cultivos,

<sup>10</sup> Una ecorregión es un territorio geográficamente definido en el que predominan condiciones climáticas y de relieve relativamente uniformes, que determinan la presencia de ciertas especies de fauna y flora.

campos de pastoreo, ciudades y caminos. El municipio de Bella Vista, en donde se ubica el proyecto, se encuentra en la ecorregión Chaco.

#### 9.4.3.2. Flora

En la región del Chaco, la vegetación característica es el bosque seco o xerófilo de quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*), quebracho serrano (*S. marginata*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). A estos se agregan el yuchán o palo borracho (*Ceiba chodatii*), varias especies de cardones y cactus de gran tamaño (*T. terscheckii*, *Stetsonia coryne*, *Opuntia quimilo*) y arbustos espinosos como las tuscas, espinillos y garabatos (del género *Acacia*). En las zonas bajas predominan algarrobos (*Prosopis spp.*) y chañar (*Geoffrea decorticans*).

#### 9.4.3.3. Fauna

En la región del Chaco, la fauna presenta una gran diversidad y valor como recurso económico, ya que entre sus especies se encuentran alimentos, medicinas e insumos industriales. Se pueden mencionar las siguientes especies: iguana o lagarto colorado (*Tupinambis rufescens*), puma (*Puma concolor*), gato moro (*Puma yagouarondi*), pecarí quimilero (*Catagonus wagneri*), pecarí de collar (*Pecari tajacu*), loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*), charata (*Ortalis canicollis*), chuña de patas rojas (*Cariama cristata*) y de patas negras (*Chunga burmeisteri*), gavilanes (*Geranospiza caerulescens*), chimangos (*Milvago chimango*) y halcones (*Falco spp.*)

#### 9.4.3.4. Áreas protegidas

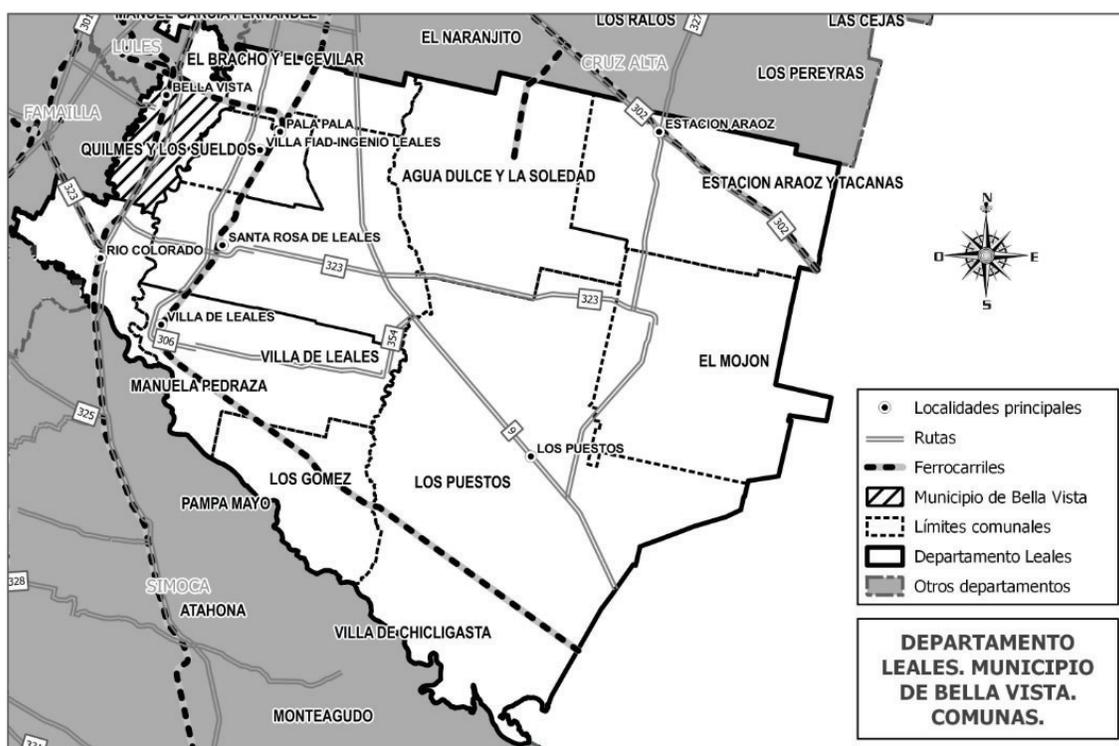
Según la Fundación ProYungas (2014), la provincia de Tucumán cuenta con un sistema de áreas protegidas que abarca 440.000 Ha. Algunas de ellas son: Parque Provincial y Reserva de Flora y Fauna La Florida, Parque Provincial Los Ñuñorcós y Reserva Natural Quebrada del Portugués, Parque Nacional Campo de Los Alisos, entre otros. En la Figura VI del Anexo V, se pueden observar las áreas protegidas en un mapa de la provincia, y se distingue que, en el área de influencia directa e indirecta del proyecto, no se encuentran áreas protegidas.

### 9.4.4. Medio ambiente socioeconómico

#### 9.4.4.1. Generalidades

El departamento de Leales (figura 33) de la provincia de Tucumán cuenta con 13 municipios, siendo el municipio de Bella Vista la ciudad cabecera del mismo. Las otras

localidades son las siguientes: Quilmes y Los Suelos, Santa Rosa de Leales, Los Puestos, Villa de Leales, Río Colorado, Estación Araóz y Tacanas, Esquina y Mancopa, Agua Dulce y La Soledad, Los Gómez, El Mojón, Manuel García Fernández, Las Talas. Dicho departamento tiene un superficie de 2027 km<sup>2</sup>, se encuentra en promedio a 342 m.s.n.m. y según el último Censo Nacional realizado en el 2022 (INDEC, 2023), cuenta con una población de 64.732 habitantes.



**Figura 33.** Mapa del departamento de Leales, provincia de Tucumán, Argentina

Fuente: GeoSPlan (s/f).

#### 9.4.4.2. Demografía

Según el Censo Nacional realizado en el año 2010, el municipio de Bella Vista cuenta con 17.158 habitantes, en donde el 49,27% son mujeres y el 50,73% son hombres. En comparación al Censo Nacional del 2001, la población tuvo un incremento del 13,43%.

#### 9.4.4.3. Servicios públicos

**Agua potable y desagües cloacales:** la actual concesionaria de los servicios de agua y saneamiento de la capital provincial y de la mayoría de los departamentos es Sociedad Aguas del Tucumán (SAT). Según el Censo Nacional del 2010, el porcentaje de viviendas del municipio de Bella Vista con acceso a la red pública de agua potable y a cloacas es del 94,50% y 26,00%, respectivamente.

**Energía eléctrica:** la empresa que brinda el servicio en la provincia de Tucumán es EDET S.A. No se cuenta con datos actualizados acerca del porcentaje de viviendas en el municipio de Bella Vista con acceso a la red de energía eléctrica.

**Gas natural:** el porcentaje de viviendas del municipio de Bella Vista con acceso a la red de gas natural es del 31,70%. La empresa que brinda el servicio es GASNOR S.A.

#### 9.4.4.4. Salud

Según el mapa realizado por el Ministerio de Salud Pública del Gobierno de Tucumán (2023), en el departamento de Leales se pueden encontrar: 29 Centros de Atención Primaria de la Salud, 4 postas sanitarias, 3 hospitales de alta complejidad y 1 Centro Integrador Comunitario.

#### 9.4.4.5. Educación

Según las estadísticas realizadas por el Ministerio de Educación del Gobierno de Tucumán (2023), en el municipio de Bella Vista existen 23 localizaciones educativas estatales que comprenden 4954 matrículas (74,18%) y 4 privadas que abarcan 1724 matrículas (25,82%). Del total de localizaciones educativas, 22 de ellas pertenecen al ámbito urbano (96,66%), 4 al ámbito rural aglomerado (2,23%) y 1 al ámbito rural disperso (1,11%).

#### 9.4.4.6. Empleo

La tasa de empleo se calcula sobre el total de la población mayor de 14 años (ocupados, desocupados e inactivos), considerando a las personas que tienen edad de trabajar, y la tasa de desempleo se calcula sobre el total de la población económicamente activa (ocupados y desocupados) también mayores de 14 años. En el año 2010, la tasa de empleo en el municipio de Bella Vista aumentó un 17% respecto al 2001. En cuanto a la tasa de desempleo, la misma disminuyó considerablemente un 31,6% en el mismo periodo.

La tasa de desempleo, a su vez, permite observar el contraste existente entre ambos sexos. Así, las mujeres tienen mayores conflictos para ingresar al mercado laboral con una tasa de 46% para 2001 y 10% para 2010, mientras que los hombres tienen una tasa de 35,3% y 6,2% para el mismo período.

#### 9.4.4.7. Transporte y conectividad

El municipio de Bella Vista no cuenta con acceso a una red de transporte público. Posee una terminal de buses de media y larga distancia sobre la Av. Mitre. Al este se encuentra la Ruta Nacional 157, y al sur, la Ruta Provincial 322.

#### 9.4.4.8. Actividades económicas

En el municipio de Bella Vista, el principal cultivo es la caña de azúcar, tal como se puede observar en color verde claro en la Figura VII del Anexo V realizada por el Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán.

### 9.5. Identificación y evaluación de impactos ambientales

En esta sección, se identifican y evalúan los impactos ambientales en cada etapa del proyecto (constructiva, operativa y cierre), a partir de la identificación de las actividades a desarrollar en cada una de ellas y de la caracterización ambiental del proyecto determinada previamente. Posteriormente, con la evaluación de los impactos realizada, se define un plan de gestión ambiental con el fin de prevenir, reducir o remediar los impactos ambientales negativos que afectan al medio ambiente físico, biológico y socioeconómico.

#### 9.5.1. Identificación de acciones del proyecto potencialmente generadoras de impactos ambientales

A continuación, se listan las acciones que se desarrollan en cada una de las etapas del proyecto que pueden ocasionar impactos ambientales en el medio físico, biológico y/o socioeconómico.

❖ **Etapla constructiva:**

- Limpieza y despeje del terreno.
- Movimiento de suelo: excavación, nivelación y relleno.
- Montaje y funcionamiento del obrador.
- Acopio de materiales de construcción.
- Tráfico de vehículos y maquinaria.
- Instalación eléctrica y sanitaria.
- Implantación de la infraestructura.
- Parquización y forestación.

❖ **Etapla operativa:**

- Funcionamiento del proyecto.
- Consumo de agua de pozo.

- Consumo de energía eléctrica.
- Mantenimiento de las instalaciones operativas.
- Tráfico de vehículos.

❖ **Etapas de cierre:**

- Desmantelamiento de las instalaciones: maquinaria, equipos y amoblamiento.
- Retiro de insumos, productos terminados y residuos.
- Demolición total de la infraestructura.
- Recomposición del paisaje.

### 9.5.2. Identificación de los componentes ambientales potencialmente impactados

Los componentes ambientales que pueden ser potencialmente impactados en cada medio, ya sea físico, biológico y/o socioeconómico, son:

❖ **Medio físico:**

- Agua: calidad del agua superficial; volumen de agua del acuífero.
- Aire: calidad del aire; nivel de ruido.
- Suelo: topografía; propiedades físicas.

❖ **Medio biológico:**

- Flora: porcentaje de cobertura vegetal.
- Fauna: cantidad y diversidad de especies.

❖ **Medio socioeconómico:** generación de empleo; servicios públicos para la población (energía eléctrica); infraestructura vial; paisaje.

### 9.5.3. Metodología de evaluación de impactos ambientales

Luego de haber identificado las acciones del proyecto y los componentes ambientales que podrían percibir impactos, se realiza la evaluación de los mismos. Para ello, se confecciona la Matriz de Leopold, en donde las columnas representan las acciones que se llevan a cabo durante el proyecto y en las filas se representan los componentes ambientales considerados. Para armar esta matriz se utiliza el método combinado de Vicente Conesa Fernández-Vítora. Dicho método permite identificar y ponderar los impactos, a partir de valores otorgados individualmente a un conjunto de atributos utilizados de manera combinada, y que en conjunto, determinan la importancia del impacto que una acción genera sobre un componente ambiental. A continuación, se describen los atributos mencionados, y en la tabla 42, se muestran sus correspondientes valores numéricos.

- ❖ **Signo (S):** indica si el impacto es beneficioso (+) o perjudicial (-) para algún factor ambiental.
- ❖ **Intensidad (I):** indica el grado probable de destrucción sobre el factor ambiental considerado.
- ❖ **Extensión (EX):** se refiere al área de influencia del impacto.
- ❖ **Momento (MO):** se refiere al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor del medio considerado.
- ❖ **Persistencia (PE):** se refiere al tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto.
- ❖ **Reversibilidad (RV):** se refiere a la probabilidad de reconstrucción del factor ambiental afectado, es decir, de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.
- ❖ **Sinergia (SI):** se debe interpretar como el reforzamiento de dos o más efectos simples.
- ❖ **Acumulación (AC):** es un fenómeno mediante el cual los efectos provocados por la acción se incrementan progresivamente.
- ❖ **Efecto (EF):** de acuerdo a su manifestación o forma de operar sobre el medio, será directo o indirecto.
- ❖ **Periodicidad (PR):** es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo.
- ❖ **Recuperabilidad (MC):** se refiere a la posibilidad de reconstrucción, ya sea total o parcial, del factor afectado. Es decir, a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.

**Tabla 42.** Atributos considerados en la evaluación de los impactos ambientales. Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

SIGNO (+/-)		PERSISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)		SINERGIA (SI)		PERIODICIDAD (PR)	
Beneficioso	+	Fugaz	1	Corto plazo	1	Sin sinergismo	1	Irregular	1
Perjudicial	-	Temporal	2	Medio plazo	2	Sinérgico	2	Periódico	2
		Permanente	4	Irreversible	4	Muy sinérgico	4	Continuo	4
INTENSIDAD (IN)		EXTENSIÓN (EX)		RECUPERABILIDAD (MC)		MOMENTO (MO)		EFECTO (EF)	

Baja	1	Puntual	1	Inmediato	1	Largo plazo	1	Indirecto	1
Media	2	Parcial	2	Medio plazo	2	Medio plazo	2	Directo	4
Alta	3	Extenso	4	Mitigable	8	Inmediato	4	<b>ACUMULACIÓN (AC)</b>	
Muy alta	8	Total	8	Irrecuperable	10	Crítico	8	Simple	1
Total	12	Crítica	12					Acumulativo	4

Luego, con la ecuación (180) se obtiene el puntaje final para cada impacto, teniendo en cuenta los valores asignados para cada atributo.

$$I = +/- (3 IN + 2 EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (180)$$

Finalmente, para una mejor visualización de los resultados, los impactos se relacionan los valores numéricos con colores (tabla 43), con los cuales se pintarán las casillas de la matriz según cada valor que resulte.

**Tabla 43.** Representación cualitativa de los valores cuantitativos de los impactos ambientales.

Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

VALORES	TIPO DE IMPACTO
Positivos	<b>POSITIVO</b>
Menor a 51	<b>LEVE</b>
Entre 51 y 80	<b>MEDIO</b>
Mayor a 80	<b>ALTO</b>

#### 9.5.4. Matriz de evaluación de impactos ambientales

A continuación, en la tabla 44, se muestra la matriz de evaluación de impactos ambientales construida correspondiente a la planta de tratamiento de efluentes líquidos. En las Tablas XV a XX del Anexo V, se encuentra realizada la valoración de los impactos ambientales según la metodología explicada previamente.

**Tabla 44.** Matriz de evaluación de impacto ambiental de la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Fuente: elaboración propia.

COMPONENTES ↓ ACCIONES →			ETAPAS DEL PROYECTO														VALOR MEDIO DE CADA COMPONENTE					
			CONSTRUCTIVA							OPERATIVA				CIERRE								
			Limpieza y despeje del terreno	Movimiento de suelo	Montaje y funcionamiento del obrador	Acopio de materiales de construcción	Tráfico de vehículos y maquinaria	Instalación eléctrica y sanitaria	Implantación de la infraestructura	Parquización y forestación	Funcionamiento del proyecto	Consumo de agua de pozo	Consumo de energía eléctrica	Mantenimiento de las instalaciones operativas	Tráfico de vehículos	Desmantelamiento de las instalaciones		Retiro de insumos, productos terminados y residuos	Demolición total de la infraestructura	Recomposición del paisaje		
Medio físico	Agua	Subterránea								-45	-45								-45			
		Superficial								-40			-40						-40			
	Aire	Calidad del aire	-27	-42						-52										-47	-33	-36
		Nivel de ruido	-31	-46	-23	-26	-46	-27	-59		-30				-29	-25	-25	-59	-33	-35		
	Suelo	Topografía	-47	-60	-23	-23	-41	-35	-48										-43	-33	-39	
Propiedades físicas		-47	-60	-23	-23	-41	-35	-48										-43	-33	-39		
IMPORTANCIA MEDIA			-38	-52	-23	-25	-44	-32	-45		-42	-45		-40	-29	-25	-25	-48	-33	-36		
Medio biológico	Flora	Porcentaje de cobertura vegetal	-47						-35												-41	
		Cantidad y diversidad de especies	-32	-48	-32	-32	-41	-35	-48		-30				-31						-37	
	Fauna																				-37	
IMPORTANCIA MEDIA			-40	-48	-32	-32	-41	-35	-48		-30				-31						-37	
Medio socioeconómico	Generación de empleo																					
	Servicios públicos para la población (energía eléctrica)										-38			-53	-38						-43	
	Infraestructura vial								-31						-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	
	Paisaje		-53	-54						-54												-54
IMPORTANCIA MEDIA			-53	-54				-31		-54					-29	-29	-29	-29	-29	-29	-39	
VALOR MEDIO DE CADA ACCIÓN			-44	-51	-28	-28	-39	-34	-49		-37			-53	-39	-30	-27	-27	-39	-31	-37	

9.5.5. Descripción de los impactos ambientales

9.5.5.1. Etapa constructiva

**Medio físico**

La **calidad del aire** se ve perjudicada debido principalmente a dos factores: la generación de material particulado debido a las tareas de limpieza y despeje del terreno, durante el movimiento de suelo, en el acopio de materiales de construcción y en la implantación de la infraestructura; y la generación de emisiones contaminantes (incluido material particulado) como consecuencia de la combustión interna de los motores de las máquinas y camiones requeridos para la construcción del proyecto. La contaminación del aire que puede afectar a terceros (trabajadores y a la comunidad) y a la flora y fauna (por deposición de MP<sub>10</sub>). Se lo califica como un impacto leve.

El **nivel de ruido** se incrementa durante esta etapa debido al movimiento de máquinas, equipos y camiones requeridos para llevar a cabo las diferentes tareas constructivas. Un nivel de ruido alto puede afectar a terceros (trabajadores y comunidad) y perturbar a la fauna de la zona. Se lo califica como un impacto leve, excepto en la tarea de implantación de infraestructura, en donde el impacto es medio.

La **topografía y las propiedades físicas del suelo** se ven afectadas debido a la modificación de los horizontes del mismo, como consecuencia del retiro de la cobertura vegetal y a las tareas de extracción de suelo, relleno, nivelación y compactación, que se requieren para el emplazamiento del proyecto. El principal impacto que ocurre en este componente, es la modificación del escurrimiento hídrico superficial natural del suelo. Se lo califica como un impacto leve, excepto en la tarea de movimiento de suelo, en donde el impacto es medio.

### ***Medio biológico***

La **flora** se ve afectada durante las tareas de limpieza y despeje del terreno, así como también, durante la instalación de la red eléctrica y sanitaria, y se lo califica como un impacto leve.

La **fauna** se ve afectada a causa del ruido que produce el funcionamiento de las maquinarias y el movimiento de los camiones para el desarrollo de las tareas constructivas. En particular, las especies más perjudicadas son las aves, causando su desplazamiento del lugar. Se lo califica como un impacto leve.

### ***Medio socioeconómico***

En cuanto a la **generación de empleo** se prevé un impacto positivo debido a la contratación de personal para la realización de la obra.

La **infraestructura vial** tiene un impacto negativo leve debido al movimiento de maquinaria y vehículos que aumentará el tráfico en la zona durante las tareas de construcción.

El **paisaje** se ve afectado como consecuencia de las tareas de limpieza y despeje del terreno, del movimiento de suelo y de la implantación de la infraestructura, en donde tendrá un impacto negativo medio.

#### 9.5.5.2. Etapa operativa

### ***Medio físico***

El **agua subterránea** del acuífero se ve afectada por la extracción de agua necesaria para las tareas llevadas a cabo en la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Se lo califica como un impacto leve.

La calidad del **agua superficial** del Río Salí se ve afectada por los efluentes generados durante el funcionamiento de las instalaciones y del mantenimiento de las

mismas. El impacto se considera leve debido a que los efluentes se tratan antes de disponerse en el cuerpo receptor.

La **calidad del aire** del área de influencia del proyecto se ve afectada debido a la generación de emisiones gaseosas proveniente de la laguna anaerobia, que puede causar malos olores en las áreas circundantes. Así como también, a causa del tráfico de vehículos responsables de transportar insumos y residuos. Se lo califica como un impacto medio.

El **nivel de ruido** se incrementa durante el funcionamiento de los equipos de la planta de tratamiento y debido a las tareas de carga y descarga de los camiones. Se lo califica como un impacto leve.

### ***Medio biológico***

La **fauna** se ve afectada a causa del ruido que produce el funcionamiento de los equipos y el movimiento de los camiones durante la carga y descarga de los mismos. Como se mencionó anteriormente, las especies más afectadas son las aves. Se lo califica como un impacto leve.

### ***Medio socioeconómico***

El funcionamiento del proyecto y el mantenimiento de las instalaciones causan un impacto positivo en la **generación de empleo**.

El **consumo de agua de pozo y de energía eléctrica** tienen un impacto negativo leve y medio, respectivamente, pudiendo provocar escasez de agua en la zona y tensión eléctrica baja.

#### 9.5.5.3. Etapa de cierre

### ***Medio físico***

La **calidad del aire** se ve afectada en las tareas de demolición de las infraestructura y durante la nivelación y relleno de suelo, como consecuencia de la combustión interna de los motores de las máquinas y camiones requeridos para realizar dichas tareas; y también, de la propia generación de material particulado debido al movimiento de suelo y al derribo de las instalaciones. Se lo califica como un impacto leve.

El **nivel de ruido** se incrementa en todas las tareas de la etapa de cierre (impacto leve), y especialmente, durante la demolición de la infraestructura por el uso de maquinaria pesada y de camiones para transportar los escombros, en donde el impacto se considera medio.

La **topografía y las propiedades físicas del suelo** se ven afectadas en las tareas de demolición y nivelación y relleno del suelo debido a lo mencionado en la etapa constructiva. Se lo califica como impacto leve.

### ***Medio socioeconómico***

La **generación de empleo** tiene un impacto positivo en todas las tareas de la etapa de cierre debido a la contratación de personal para el desarrollo de las mismas.

La **infraestructura vial** tiene un impacto negativo leve debido al aumento de tráfico en la zona que ocurre por el movimiento de maquinaria y camiones para el transporte de escombros, materiales y equipos.

El **paisaje** tiene un impacto positivo en la tarea de nivelación y relleno del suelo debido a la ausencia de la planta de tratamiento de efluentes líquidos en la zona.

## **9.6. Análisis de riesgos ambientales**

El análisis de riesgos ambientales es un estudio que se realiza para determinar las causas de las posibles contingencias y de los daños y consecuencias que se pueden ocasionar como consecuencias de las mismas. El riesgo se evalúa a través de la medición de los dos parámetros que lo determinan:

- La magnitud de la pérdida o daño posible.
- La probabilidad de que dicha pérdida o daño llegue a ocurrir (probabilidad de ocurrencia).

El cálculo del riesgo se realiza en una matriz en la que se enumeran las contingencias que podrían afectar al proyecto, su probabilidad de ocurrencia y magnitud, que derivan en el riesgo a determinar.

### **9.6.1. Determinación del grado de certidumbre**

El grado de certidumbre o probabilidad de las contingencias (C) expresa cuán probable es que un suceso ocurra o no, y varía entre:

- C = 0, cuando se considera que la ocurrencia es totalmente improbable.
- C = 1, cuando se juzga que la certeza de ocurrencia es incuestionable.

En la tabla 45, se especifica el valor que está ligado a cada probabilidad de ocurrencia.

**Tabla 45.** Definición de cada grado de certidumbre y su respectivo puntaje. Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

GRADO DE CERTIDUMBRE	DEFINICIÓN	VALOR
Frecuente	Alta probabilidad de ocurrencia.	1,00
Moderada	Probabilidad de ocurrencia media. Sucede algunas veces.	0,80
Ocasional	Posibilidad de ocurrencia limitada. Sucede pocas veces.	0,60
Remota	Posibilidad de ocurrencia baja. Sucede en forma esporádica.	0,40
Improbable	Posibilidad de ocurrencia muy baja. Sucede en forma excepcional.	0,20
Imposible	De difícil posibilidad de ocurrencia. No ha sucedido hasta ahora.	0,10

#### 9.6.2. Determinación de la magnitud de las contingencias

La magnitud (M) de las contingencias tienen en cuenta los daños que se producen sobre el ambiente y la vulnerabilidad del mismo frente a ellas. En la tabla 46, se especifica el valor de cada contingencia según el nivel de daño.

**Tabla 46.** Nivel de daño de las contingencias y su valor. Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

NIVEL DE DAÑO	VALOR
Nulo	0,00
Leve	1,00
Medio	2,00
Alto	3,00
Grave (daño reversible)	4,00
Grave (daño irreversible)	5,00

### 9.6.3. Cálculo del riesgo

El riesgo se calcula multiplicando el grado de certidumbre (C) de cada contingencia por la magnitud (M) del daño, tal como se muestra en la ecuación (181).

$$R = C * M \quad (181)$$

En la tabla 47, se puede observar la clasificación de los riesgos con su definición, según el valor de R obtenido.

**Tabla 47.** Clasificación de los riesgos. Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

INCIDENTE	DEFINICIÓN	VALOR (R)
Aceptable	No representa un riesgo significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata de recursos y no requiere una acción específica para su gestión.	0,00 a 1,60
Tolerable	Se necesita una acción específica para la gestión sobre el riesgo, pero la prioridad es de segundo nivel.	1,70 a 3,30
Inaceptable	Se requiere implementar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión debido al alto impacto que causaría sobre el ambiente.	3,40 a 5,00

### 9.6.4. Descripción de los riesgos ambientales del proyecto y su clasificación

Los riesgos ambientales o incidentes que se pueden ocasionar en la planta de tratamiento de efluentes líquidos son los siguientes:

- ❖ **Enfermedades ocupacionales:** pueden ocurrir debido a la exposición al ruido (por el funcionamiento de los equipos), ocasionando enfermedades relacionadas al oído; a los sobreesfuerzos (por la realización de movimientos repetitivos), causando enfermedades osteomusculares; y por la exposición a productos químicos utilizados en el proceso de tratamiento del efluente, produciendo irritaciones en el sistema respiratorio y en la piel.

- ❖ **Explosiones:** pueden ocurrir debido a fugas de gas o a la acumulación de vapores proveniente del almacenamiento de los productos químicos utilizados en la planta, con la consecuente formación de atmósferas explosivas.
- ❖ **Incendios:** pueden ocurrir debido a un manejo y/o almacenamiento inadecuado de los productos químicos inflamables y a posibles fallas en la instalación eléctrica.
- ❖ **Derrames de sustancias peligrosas:** pueden ocurrir debido a un manejo y/o almacenamiento inadecuado de los productos químicos utilizados en el tratamiento del efluente, así como también, pueden haber derrames de combustibles y aceites de los camiones de proveedores que ingresan a la planta.
- ❖ **Accidentes laborales:** incluye caídas a un mismo o distinto nivel; caída de objetos; atrapamientos o arrastres; cortes; sobreesfuerzos; ahogamientos.

En la tabla 48, se muestra la valoración de los incidentes mencionados, en donde se indica el valor del grado de incertidumbre, la magnitud y la clasificación del riesgo.

**Tabla 48.** Valoración de los incidentes en la planta de tratamiento de efluentes líquidos. Fuente: Cátedra de la materia "Evaluación de Impacto Ambiental" de la Universidad Nacional de San Martín.

N°	INCIDENTE	RIESGO		
		C	M	C*M
I1	Enfermedades ocupacionales	0,40	5	2,00
I2	Explosiones	0,20	5	1,00
I3	Incendios	0,40	5	2,00
I4	Derrames de sustancias peligrosas	0,60	2	1,20
I5	Accidentes laborales	0,80	3	2,40

En la tabla 49, se observa la matriz de riesgo confeccionada a partir de los valores determinados para el grado de incertidumbre o probabilidad y la magnitud, y los valores obtenidos para clasificar el riesgo. En color verde se representan los riesgos aceptables, en amarillo los tolerables, y en rojo los inaceptables.

**Tabla 49. Matriz de riesgos ambientales de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.***Fuente: elaboración propia.*

			GRAVEDAD				
			1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
			LEVE	MEDIA	ALTA	REVERSIBLE	IRREVERSIBLE
PROBABILIDAD	0,10	IMPOSIBLE					
	0,20	IMPROBABLE					I2
	0,40	REMOTA					I1, I3
	0,60	OCASIONAL		I4			
	0,80	MODERADA			I5		
	1,00	FRECUENTE					

Del análisis de riesgos ambientales realizado, puede determinarse que, dos de los riesgos identificados son aceptables (I2, I4) y tres son tolerables (I1, I3 e I5).

## 9.7. Plan de gestión ambiental y social

El Plan de Gestión Ambiental y Social está conformado por un conjunto de Programas que tienen el objetivo de implementar medidas que permitan realizar las actividades del proyecto de planta de tratamiento de efluentes líquidos de una manera sostenible, preservando el medio ambiente y la salud y seguridad de los trabajadores y de la comunidad.

Todos los Programas descritos en esta sección serán puestos en práctica en todas las etapas del proyecto, con la excepción del Programa de Cierre y Abandono que solamente será aplicado en la etapa de cierre.

### 9.7.1. Programa de prevención y mitigación de impactos ambientales

Este Programa contiene las medidas de prevención, reducción o remediación de los impactos ambientales negativos identificados que ocurren en los componentes aire, suelo y flora y fauna, en las diferentes etapas del proyecto (ver tablas 50 a 53).

**Tabla 50. Ficha de mitigación del impacto para el componente "Calidad del aire".***Fuente: elaboración propia.*

<b>COMPONENTE: CALIDAD DEL AIRE</b>
<b>MEDIDA: Control de las emisiones de contaminantes criterio</b>

Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar	Tipo de medida	Etapas de aplicación
Contaminación del aire que puede afectar a terceros (trabajadores y a la comunidad) y a la flora y fauna (por deposición de MP <sub>10</sub> ).	Preventiva Reductora	Constructiva Operativa Cierre
Área de aplicación	Frecuencia del monitoreo	
Todo el predio	Diaria	
Descripción de la medida		
<input type="checkbox"/> Realizar el mantenimiento correspondiente a los vehículos y máquinas de construcción. <input type="checkbox"/> Los vehículos y máquinas de construcción que ingresen al predio deberán movilizarse a menos de 15 km/h. <input type="checkbox"/> Humedecer el suelo con agua para evitar la generación de polvo. <input type="checkbox"/> Cubrir con lonas los materiales de construcción a transportar y aquellos que estén depositados en el suelo para evitar ser movilizados por el viento. <input type="checkbox"/> Utilizar EPP durante las tareas constructivas que generan material particulado. <input type="checkbox"/> Se prohíbe la quema a cielo abierto de cualquier tipo de residuos.		
<b>Personal requerido:</b> Jefe de obra - Obreros.		
<b>Responsable de implementación:</b> Director de obra/Supervisor de dirección de obra/Ingeniero ambiental.		

**Tabla 51.** Ficha de mitigación del impacto para el componente "Nivel de ruido".

Fuente: elaboración propia.

COMPONENTE: NIVEL DE RUIDO		
MEDIDA: Control del riesgo acústico		
Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar	Tipo de medida	Etapas de aplicación
Ruidos molestos a los vecinos cercanos; efectos negativos sobre la salud de los trabajadores; perturbaciones a la fauna de la zona.	Preventiva Reductora	Constructiva Operativa Cierre
Área de aplicación	Frecuencia del monitoreo	
Todo el predio	Semanal	
Descripción de la medida		
<input type="checkbox"/> Realizar las mediciones anuales de ruido en ambiente laboral y ruidos molestos al		

<p>vecindario según legislación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Utilizar protección auditiva durante las tareas en donde haya exposición al ruido. Supervisar su correcto uso.</li> <li><input type="checkbox"/> Realizar el mantenimiento correspondiente a las máquinas y equipos para evitar una mayor generación de ruido.</li> <li><input type="checkbox"/> Establecer la jornada laboral de tal manera que no resulte perjudicial para los vecinos y para la fauna (aves).</li> <li><input type="checkbox"/> Implementar barreras acústicas si fueran necesarias.</li> </ul>
<b>Personal requerido:</b> Jefe de obra - Obreros.
<b>Responsable de implementación:</b> Licenciado en Seguridad e Higiene.

**Tabla 52.** Ficha de mitigación del impacto para el componente “Topografía y propiedades físicas del suelo”. Fuente: elaboración propia.

<b>COMPONENTE: TOPOGRAFÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</b>		
<b>MEDIDA: Conservación de la topografía y de las propiedades físicas del suelo.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Modificación de la topografía y de las propiedades físicas del suelo y el consecuente escurrimiento hídrico superficial natural del mismo.	Preventiva Reductora	Constructiva Cierre
<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>	
Todo el predio	Semanal	
<b>Descripción de la medida</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Diseñar las construcciones y determinar el montaje de maquinarias considerando el escurrimiento natural de la cuenca del Río Salí-Dulce.</li> <li><input type="checkbox"/> Retirar únicamente la vegetación necesaria para la implantación de las construcciones y de las maquinarias a utilizar.</li> <li><input type="checkbox"/> Remover la menor cantidad posible de suelo.</li> <li><input type="checkbox"/> Nivelar el terreno exclusivamente cuando se requiera una superficie apta para instalar y movilizar equipos de construcción.</li> <li><input type="checkbox"/> Recomponer las pendientes del terreno alteradas para evitar obstaculizar el drenaje natural del agua hacia el Río Salí.</li> <li><input type="checkbox"/> Evitar dañar áreas sensibles en donde hay suelos frágiles.</li> </ul>		
<b>Personal requerido:</b> Jefe de obra - Obreros.		
<b>Responsable de implementación:</b> Director de obra/Supervisor de dirección de obra.		

**Tabla 53.** Ficha de mitigación del impacto para el componente “Topografía y propiedades físicas del suelo”. Fuente: elaboración propia.

<b>COMPONENTE: FLORA Y FAUNA</b>		
<b>MEDIDA: Protección y restauración de la flora y fauna de la zona afectada.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Pérdida de la flora y fauna asociada a la zona de estudio; pérdida de la cobertura vegetal; erosión del suelo; alteración del paisaje.	Preventiva Remediadora	Constructiva Operativa
<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>	
Todo el predio	Semanal	
<b>Descripción de la medida</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Evitar la extracción y tala de árboles.</li> <li><input type="checkbox"/> Retirar sólo la vegetación necesaria para la implantación del proyecto.</li> <li><input type="checkbox"/> Respetar los lineamientos del Factor de Ocupación del Suelo (FOS) y del Factor de Ocupación Total (FOT).</li> <li><input type="checkbox"/> Reacondicionar el área sembrando especies adaptables a la zona o autóctonas.</li> </ul>		
<b>Personal requerido:</b> Jefe de obra - Obreros.		
<b>Responsable de implementación:</b> Director de obra/Supervisor de dirección de obra.		

#### 9.7.2. Programa de gestión de residuos y efluentes

Este Programa contiene las medidas para gestionar la generación, almacenamiento transitorio, transporte y disposición final de los residuos producidos como resultado del desarrollo de las diferentes etapas del proyecto (tabla 54). A su vez, contiene las medidas para gestionar correctamente los efluentes generados en la industria citrícola (tabla 55).

**Tabla 54.** Ficha para implementar la medida “Gestión de residuos sólidos”.

Fuente: elaboración propia.

<b>MEDIDA: Gestión de residuos sólidos.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Contaminación del suelo; efectos nocivos a la salud de terceros (trabajadores y comunidad); alteración del paisaje.	Preventiva Reductora	Constructiva Operativa Cierre

<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>
Todo el predio	Permanente
<b>Descripción de la medida</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Los residuos peligrosos generados serán almacenados transitoriamente en un depósito acondicionado según legislación, para posteriormente, ser entregados a un operador autorizado.</li> <li><input type="checkbox"/> Los escombros serán retirados por personal autorizado y se les dará su tratamiento como residuos de construcción y demolición.</li> <li><input type="checkbox"/> Se dispondrán contenedores de diferentes colores para la clasificación de los residuos en todas las etapas del proyecto: reciclables (verde), comunes (negro), peligrosos (amarillo).</li> <li><input type="checkbox"/> Disponer de un manual para el manejo de residuos sólidos y capacitar a todo el personal afectado al proyecto.</li> </ul>	
<b>Personal requerido:</b> Ingeniero ambiental.	
<b>Responsable de implementación:</b> Ingeniero ambiental.	

**Tabla 55.** Ficha para implementar la medida "Gestión de efluentes líquidos".

Fuente: elaboración propia.

<b>MEDIDA: Gestión de efluentes líquidos.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Contaminación del agua superficial.	Preventiva	Constructiva
<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>	
Todo el predio	Diaria	
<b>Descripción de la medida</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Asegurar el control de la planta de tratamiento ubicada con personal capacitado.</li> <li><input type="checkbox"/> Registrar todos los datos concernientes a los distintos tipos de efluentes (caudal, tratamiento aplicado, análisis realizados, disposición final).</li> </ul>		
<b>Personal requerido:</b> Operario de la planta de tratamiento.		
<b>Responsable de implementación:</b> Ingeniero ambiental.		

### 9.7.3. Programa de seguridad industrial y salud ocupacional

Todas las etapas del proyecto deben contar con un profesional de Higiene y Seguridad a cargo, el cual será responsable de asegurar la salud y seguridad de los trabajadores que realizan sus tareas diariamente (tabla 56).

**Tabla 56.** Ficha para implementar la medida "Prevención de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales". Fuente: elaboración propia.

<b>MEDIDA: Prevención de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Accidentes laborales y enfermedades ocupacionales.	Preventiva	Constructiva Operativa Cierre
<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>	
-	Nuevas contrataciones	
<b>Descripción de la medida</b>		
<input type="checkbox"/> Colocar cartelería de seguridad. <input type="checkbox"/> Supervisar el uso de los EPP. <input type="checkbox"/> Dictar charlas de capacitación. <input type="checkbox"/> Realizar las mediciones anuales según legislación.		
<b>Personal requerido:</b> Licenciado en Seguridad e Higiene.		
<b>Responsable de implementación:</b> Licenciado en Seguridad e Higiene.		

#### 9.7.4 Programa de capacitación técnico-ambiental

Este Programa tiene como objetivo, difundir los distintos programas del Plan de Gestión Ambiental y Social a todo el personal afectado a la construcción, funcionamiento y cierre del proyecto. Las capacitaciones serán adaptadas según el perfil de los trabajadores que se deban capacitar y serán dictadas por el Licenciado en Seguridad e Higiene (ver tabla 57).

**Tabla 57.** Ficha para implementar la medida "Capacitación del personal". Fuente: elaboración propia.

<b>MEDIDA: Capacitación del personal.</b>		
<b>Impacto a prevenir, controlar, corregir o mitigar</b>	<b>Tipo de medida</b>	<b>Etapas de aplicación</b>
Accidentes laborales; enfermedades ocupacionales; contaminación del suelo.	Preventiva	Constructiva Operativa Cierre
<b>Área de aplicación</b>	<b>Frecuencia del monitoreo</b>	

-	Nuevas contrataciones
Descripción de la medida	
<input type="checkbox"/> Concientizar a los trabajadores sobre el uso de EPP y ropa de trabajo; la correcta disposición de los residuos; cómo actuar ante contingencias; enfermedades ocupacionales referidas a los puestos de trabajo correspondientes. <input type="checkbox"/> Informar sobre todos los Programas del Plan de Gestión Ambiental y su cumplimiento.	
<b>Personal requerido:</b> Licenciado en Seguridad e Higiene.	
<b>Responsable de implementación:</b> Licenciado en Seguridad e Higiene.	

#### 9.7.5. Plan de contingencias

El plan de contingencias contiene un conjunto de normas y procedimientos que presentan acciones de respuesta para enfrentar oportunamente y de manera adecuada y efectiva, la ocurrencia de incidentes, accidentes y/o estados de emergencias durante el desarrollo de las actividades del proyecto. De esta forma, se intenta causar el menor impacto a la salud de los trabajadores y a la comunidad, al medio ambiente y al proyecto.

##### 9.7.5.1. Incendios y explosiones

Se consideran las áreas en donde se utilicen o almacenen combustibles y aceites, productos químicos inflamables, así como también, en donde sea probable la ocurrencia de accidentes operativos por maquinaria pesada y unidades de transporte, y por cortocircuitos eléctricos.

#### Antes del evento

- ❖ El procedimiento de respuesta ante un incendio debe ser difundido a todo el personal que trabaja en el lugar, así como también, las capacitaciones para la localización y manejo de equipos y dispositivos contra incendios.
- ❖ Brindar capacitaciones a los trabajadores sobre la lucha contra incendios, mediante charlas y simulacros.
- ❖ Organizar brigadas contra incendios, coordinadas con el área de seguridad y salud ocupacional.

#### Durante el evento

- ❖ En el momento en que se detecte un incendio, el personal del sector involucrado alertará de inmediato al personal de la brigada contra incendios y también, se dará aviso a los trabajadores que se encuentren cercanos al lugar. Se evitará la circulación del personal en el sector afectado.

- ❖ Todo el personal que haya sido capacitado en el uso de extintores y en el funcionamiento del sistema contra incendios, podrá usarlos.
- ❖ Si el incendio rápidamente se encuentra fuera de control, evacuar hacia el punto de encuentro previamente pactado y dar aviso a los Bomberos.

#### **Después del evento**

- ❖ No regresar al lugar del incendio hasta que la zona sea evacuada y se compruebe la extinción total del fuego.
- ❖ El personal a cargo del sector evaluará los daños y redactará un informe.
- ❖ Se analizarán las causas del incendio y se evaluará la respuesta de la brigada contra incendio y de las unidades de apoyo para corregir errores, y de esta manera, mejorar los planes de respuesta.

#### 9.7.5.2. Derrames de productos químicos

##### **Antes del evento**

- ❖ Inspeccionar periódicamente el sitio y las condiciones de almacenamiento de los productos químicos en la planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- ❖ Realizar el mantenimiento periódico de las unidades de transporte de combustibles (si los hubiera).

##### **Durante el evento**

- ❖ Comunicar, a través de radio, teléfono o personalmente, al responsable del taller de la ocurrencia del derrame, indicando su localización y todos los detalles posibles, para decidir las acciones a implementar.
- ❖ Comunicar a los bomberos, en caso de que se requiera apoyo.
- ❖ Trasladar a las personas afectadas al centro de auxilio más cercano e informar a los familiares de las mismas.
- ❖ Solicitar el apoyo de maquinarias y/o personal en caso de precisarlo. Si el incidente ocurre en la vía pública, dar aviso a la policía para despejar el área y colocar las señales correspondientes.
- ❖ Absorber y retirar el líquido utilizando paños absorbentes.
- ❖ Esparcir el material absorbente en los lugares en donde el derrame esté muy disperso en el terreno, mezclar con el suelo y eliminarlo.
- ❖ Remover el suelo afectado, hasta una profundidad de 10 cm por debajo del nivel máximo de contaminación, el cual será enviado al contenedor de residuos peligrosos rotulado con “suelo contaminado” designado por el programa de gestión de residuos sólidos. Luego, se procederá con la reposición del suelo afectado.

- ❖ Personal autorizado se encargará del transporte y disposición final del suelo contaminado en un relleno de seguridad.

#### **Después del evento**

- ❖ Evaluar la capacidad de respuesta del personal y de los procedimientos establecidos.
- ❖ Registrar el accidente en formularios previamente establecidos, que tendrán como mínimo la siguiente información: las características del incidente; fecha, hora, lugar y tipo de derrame; sustancia derramada; volumen derramado; recursos afectados (fuentes de agua, suelos, vegetación); número de personas afectadas (en caso de que existan).

#### 9.7.5.3. Accidentes laborales

##### **Antes del evento**

- ❖ Disponer de un botiquín de primeros auxilios en la planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- ❖ Brindar capacitaciones al personal en temas de primeros auxilios, seguridad y salud ocupacional, entre otros.
- ❖ Proporcionar y verificar el correcto uso de los equipos de protección personal asignado a los trabajadores.
- ❖ Colocar en lugares visibles, los números de emergencia de los centros de auxilio cercanos.

##### **Durante el evento**

- ❖ Comunicar, a través de radio, teléfono o personalmente, al responsable del sector acerca del accidente, indicando su localización, tipo de accidente y nivel de gravedad.
- ❖ Trasladar al lugar del accidente los implementos y/o equipos para atender al herido.
- ❖ Evaluar la situación antes de actuar, inspeccionando el entorno, de manera que permita poner en marcha la denominada conducta PAS (proteger, avisar, socorrer).
- ❖ Actuar de acuerdo a las pautas establecidas en los cursos de inducción de seguridad, manteniendo la calma, serenidad y rapidez, dando tranquilidad y confianza a los afectados.
- ❖ Dar aviso a los bomberos, dependiendo de la situación y magnitud del accidente del trabajador.
- ❖ Trasladar al personal afectado a los centros asistenciales más cercanos.

##### **Después del evento**

- ❖ Evaluar la capacidad de respuesta del personal y de los procedimientos establecidos.
- ❖ Registrar el incidente en un formulario en donde se incluya: lugar de accidente, fecha, hora, actividad que realizaba el accidentado, causa del accidente, gravedad, entre otros.

#### 9.7.6. Programa de cierre y abandono

Este Programa tiene como objetivo retornar a las condiciones iniciales del predio en donde se emplazó el proyecto, y de esta manera, recuperar el paisaje antes del mismo.

- Inspección visual de las instalaciones a dismantelar.
- Dismantelamiento de las instalaciones: maquinaria, equipos y amoblamiento.
- Retiro de insumos, productos terminados y residuos.
- Demolición total de la infraestructura.
- Recomposición del paisaje.

#### 9.7.7. Programa de monitoreo, control y seguimiento

Este Programa abarca una serie de actividades sistemáticas y ordenadas, con el fin de establecer un control y seguimiento de las afectaciones al ambiente en el área de influencia del proyecto para las diferentes etapas del mismo. El personal requerido para implementar y llevar a cabo este programa, es el Responsable de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente de la empresa. Los objetivos específicos son:

- Controlar y realizar un seguimiento de las actividades del proyecto y la aplicación de las medidas ambientales.
- Controlar y realizar un seguimiento de los impactos ambientales a través del tiempo y espacio, en base a las evaluaciones periódicas realizadas, tanto en la fuente como en el recurso sobre el cual recae.
- Disponer de documentos, registros y evidencias de las actividades realizadas para realizar el control y seguimiento.

Las actividades que contempla el monitoreo en las etapas constructiva, operativa y de cierre, son las siguientes:

- Monitoreo de manejo de residuos sólidos
- Monitoreo de efluentes líquidos.
- Monitoreo de emisiones gaseosas.
- Monitoreo del nivel de ruido.

---

## 9.8. Conclusiones del EsIA

Luego de haber realizado la Evaluación de Impacto Ambiental de la planta de tratamiento de efluentes líquidos, se concluye que el proyecto es viable ambientalmente, ya que el mismo no presenta impactos negativos que no puedan ser prevenidos, reducidos o remediados con las medidas que fueron detalladas en el Plan de Gestión Ambiental y Social.

Los impactos negativos que tienen un tipo de impacto medio corresponden a la afectación de la calidad del aire en la etapa operativa; al incremento del nivel de ruido en las etapas constructiva y de cierre; a la modificación de la topografía y propiedades físicas del suelo durante la etapa constructiva; al consumo de energía eléctrica en la etapa operativa; y a la afectación del paisaje en la etapa constructiva.

En cuanto a los riesgos que posee el proyecto, los más relevantes corresponden a enfermedades ocupacionales, incendios y accidentes laborales. Por lo tanto, es fundamental aplicar correctamente el plan de contingencias.

## 10. Planos

En los planos realizados del proyecto, se indica la disposición de las unidades de tratamiento, sus dimensiones y el sistema de conducción. Este último es aproximado ya que el mismo será instalado por proveedores. Se aclara que no se realizaron los planos correspondientes al tamiz y al deshidratador de prensa de tornillo multidisco ya que son equipos que se compran e instalan en planta.

A continuación, se listan los planos confeccionados, los cuales se pueden observar en el Anexo VI.

- ❖ **Plano N°1:** Sistema de rejas finas para el efluente cloacal.
- ❖ **Plano N°2:** Sistema de rejas medias para el efluente industrial.
- ❖ **Plano N°3:** Tanque de compensación.
- ❖ **Plano N°4:** Cámara de coagulación-floculación.
- ❖ **Plano N°5:** Cámara de flotación por aire disuelto (DAF).
- ❖ **Plano N°6:** Cámara de desinfección.
- ❖ **Plano N°7:** Laguna anaerobia.
- ❖ **Plano N°8:** Laguna facultativa N°1.
- ❖ **Plano N°9:** Laguna facultativa N°2.
- ❖ **Plano N°10:** Tanques de almacenamiento del lodo húmedo (izquierda) y seco (derecha).
- ❖ **Plano N°11:** Vista lateral de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.
- ❖ **Plano N°12:** Vista superior de la planta de tratamiento de efluentes líquidos.

---

## 11. Conclusiones

### 11.1. Conclusiones del proyecto

Al llevar a cabo el presente proyecto, se analiza de manera global el emplazamiento de una planta de tratamiento de efluentes líquidos para una industria cítrica en el municipio de Bella Vista, departamento de Leales, provincia de Tucumán.

Se determina que la alternativa que resulta más adecuada para el tratamiento de un efluente cítrico es la que incluye un tren de lagunas de estabilización en el tratamiento secundario. La misma permite cumplir con los límites admisibles para la descarga a un cuerpo de agua superficial de acuerdo con el Anexo I, inciso A) de la Resolución N°030/2009 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente (SEMA) de la provincia de Tucumán.

Asimismo, se realiza el cómputo y presupuesto de la alternativa seleccionada para definir el costo de inversión inicial (USD \$508.570,32), de operación y mantenimiento (USD \$73.114,04), y el costo de tratamiento por metro cúbico de efluente (USD \$4,15).

Finalmente, se elabora el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) del proyecto, con el cual se determina que el mismo es viable desde el punto de vista ambiental, y los planos de las unidades de tratamiento diseñadas.

### 11.2. Conclusiones personales

Considero que la realización del presente Proyecto Final Integrador es una experiencia sumamente desafiante, ya que implica poner en práctica de forma integral los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria. Asimismo, atravesar esta instancia de evaluación, favorece el desarrollo de diversas habilidades personales tales como: la capacidad analítica, la concentración, la organización, la capacidad de resolución de problemas, la gestión del tiempo y la comunicación. Para concluir, se destaca la importancia de mantenerse actualizado en un campo que se encuentra en constante evolución.



Bombas Hasa (2016). *Catálogo general 2015 - 2016*. Recuperado de:

<https://www.bombashasa.com/es/descargas/>

Bombetec (s/f). *Filtros de prensa*. Recuperado de:

<https://www.bombetec.com.br/informacao/filtro-prensa/>

Bonaparte, J. & Bobovnikov, J. (1974). *Algunos fósiles pleitocénicos de la provincia de Tucumán y su significado estratigráfico*. Acta Geológica Lilloana, 9. 5-24. Tucumán.

Bonissone Varela, E., Vicente, P. & Herrera, R. E. (2018). *Tratamiento terciario de un efluente de cítrica por fitorremediación*. Recuperado de:

[https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/12952/varela-bonissone-emma-unt.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/12952/varela-bonissone-emma-unt.pdf)

Catálogo Agua Fría Tigre (2017). *Propiedades del PVC*. Recuperado de:

<https://www.totaline.com.ar/productos/refrigeracion/productos-de-refrigeracion/compresores-y-unidades-condensadoras/attachment/23-catalogo-agua-fria-tigre/>

CCE (2021). *Economías regionales: red de actores, procesos de producción y espacios para agregar valor*. Consejo para el Cambio Estructural. Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. Recuperado de:

[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt\\_10\\_-\\_economias\\_regionales.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_10_-_economias_regionales.pdf)

Chitunhu, B., Kwiri, R. & Muredzi, P. (2014). *Redesigning waste water treatment process in view of utilising the water: A case study at a citrus juice processing company in Zimbabwe*.

Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/265612508\\_Redesigning\\_waste\\_water\\_treatment\\_process\\_in\\_view\\_of\\_utilising\\_the\\_water\\_A\\_case\\_study\\_at\\_a\\_citrus\\_juice\\_processing\\_company\\_in\\_Zimbabwe](https://www.researchgate.net/publication/265612508_Redesigning_waste_water_treatment_process_in_view_of_utilising_the_water_A_case_study_at_a_citrus_juice_processing_company_in_Zimbabwe)

Chong, S., Kanti, T., Kayaalp, A. & Ang, H. (2012). *The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (AUSB) reactors for domestic sludge treatment - A state-of-the-art review*. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22560620/>

CIDTA (s/f). *Capítulo: Espesamiento*. Universidad de Salamanca, España. Recuperado de:

[https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/CURSO/UNI\\_08/u8c3s2.htm](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/CURSO/UNI_08/u8c3s2.htm)

Coripa (s/f). *Folleto Geomembrana Flexplan*. Recuperado de:

<https://coripa.com.ar/geomembranas/>

Coripa (s/f). *Lagunas de tratamiento*. Recuperado de:

<https://coripa.com.ar/lagunas-de-tratamiento/>

Corsino, S. F., Di Trapani, D., Torregrossa, M. & Viviani, G. (2018). *Aerobic granular sludge treating high strength citrus wastewater: Analysis of pH and organic loading rate effect on kinetics, performance and stability*. Recuperado de:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29518593/>

Crismet (s/f). *Fabricación de agitadores industriales*. Fuente:

<https://www.crismet.com.ar/index.php>

Cropaia (s/f). *Lodos activados - Parámetros de control*. Recuperado de:

<https://cropaia.com/es/blog/lodos-activados-parametros-de-control/>

CYPE Ingenieros S.A. (s/f). *Generador de precios de la construcción*. Argentina.

Recuperado de: <http://www.argentina.generadordeprecios.info/>

Díaz Achával, M. (2017). *Cuenca del Río Salí-Dulce: La calidad del agua de los ríos que desaguan en el Embalse de Río Hondo*. Defensoría del Pueblo de Santiago del Estero.

Recuperado de:

<https://defensorsantiago.gob.ar/wp-content/uploads/2018/03/CuencaRioSaliDulce-libro.pdf>

Di Trapani, D., Corsino, S. F., Torregrossa, M. & Viviani, G. (2019). *Treatment of high strength industrial wastewater with membrane bioreactors for water reuse: Effect of pre-treatment with aerobic granular sludge on system performance and fouling tendency*.

Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/336181670\\_Treatment\\_of\\_high\\_strength\\_industrial\\_wastewater\\_with\\_membrane\\_bioreactors\\_for\\_water\\_reuse\\_Effect\\_of\\_pre-treatment\\_with\\_aerobic\\_granular\\_sludge\\_on\\_system\\_performance\\_and\\_fouling\\_tendency](https://www.researchgate.net/publication/336181670_Treatment_of_high_strength_industrial_wastewater_with_membrane_bioreactors_for_water_reuse_Effect_of_pre-treatment_with_aerobic_granular_sludge_on_system_performance_and_fouling_tendency)

EDET (2020). *Costos del servicio*. Recuperado de:

<https://www.edetsa.com/info/pwa/institucional/costos-del-servicio>

EEAOC (2023). *Datos históricos*. Recuperado de:

<https://agromet.eeaoc.gob.ar/graficos.php?opcion=1&estacn=2049&desde=01/01/2000&hasta=01/01/2000>

Ekoton (s/f). *Prensa de tornillo multidisco deshidratador*. Recuperado de:

<https://docplayer.es/217177731-Prensa-de-tornillo-multidisco-deshidratador-serie-mdq-mdq-c.html>

Equipos y Laboratorio (s/f). *Qué son los grados brix*. Recuperado de:

<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/que-son-los-grados-brix>

FEDERCITRUS (2018). *La actividad citrícola argentina*. Federación Argentina del Citrus.

Recuperado de:

<https://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2018/05/Actividad-Citricola-2018.pdf>

Fundación ProYungas (2014). *Áreas protegidas de Tucumán*. Recuperado de:

<http://proyungas.org.ar/publication/guia-visual-de-las-areas-protegidas-de-tucuman/>

Gedar (s/f). *Tamiz estático*. Recuperado de:

<https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Tamices-Estaticos.pdf>

GeoSPlan (s/f). *Mapa departamento de Leales, Tucumán*. Recuperado de:

<http://geosplan.tucuman.gov.ar/index.php/mapa/mapa-departamento-de-leales-tucuman/>

Hidalgo, J. G. (2015). *Prevención, reducción y control de la contaminación generada por la industria citrícola al medio ambiente: depuración de efluentes mediante procesos de oxidación avanzada*. Universidad de Zaragoza. Recuperado de:

<https://zaguan.unizar.es/record/31617/files/TESIS-2015-058.pdf>

IDEP (2020). *Sector citrícola en Tucumán*. Instituto de Desarrollo Productivo de Tucumán.

Recuperado de:

<https://idep.gov.ar/webidep/wp-content/uploads/2021/06/Sector-Citricola-en-Tucuman.pdf>

INDEC (2021). *Censo Nacional Agropecuario 2018: Resultados definitivos*. Instituto

Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de:

[https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf)

INDEC (2023). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. Recuperado de:  
<https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165>

InfoLEG (s/f). *Decreto N°674/89*. Recuperado de:  
<http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/16713/texact.htm>

Koppar, A. & Pullammanappallil, P. (2013). *Anaerobic digestion of peel waste and wastewater for on site energy generation in a citrus processing facility*. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/273825951\\_Anaerobic\\_digestion\\_of\\_peel\\_waste\\_and\\_wastewater\\_for\\_on\\_site\\_energy\\_generation\\_in\\_a\\_citrus\\_processing\\_facility](https://www.researchgate.net/publication/273825951_Anaerobic_digestion_of_peel_waste_and_wastewater_for_on_site_energy_generation_in_a_citrus_processing_facility)

Machado López, W. D. (2015). *Tratamiento biológico de residuos semi sólidos y efluentes líquidos de la industria del procesado del limón*. Universidad de Burgos. Recuperado de:  
<https://riubu.ubu.es/handle/10259/4613>

Martínez De Marco, Silvia N., Tracanna, Beatriz, C., Barrionuevo, María A., Navarro, María G., Meoni, Gladys S. & Chaile, Adriana P. (2007). *Fluctuaciones de las variables físicas y químicas de los ríos Salí, Vipos y Tapia (Tucumán, Argentina)*. Recuperado de:  
<https://www.lillo.org.ar/journals/index.php/lilloa/article/view/629>

Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Tercera edición. Volumen II.

Meteoblue (s/f). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Bella Vista*. Recuperado de:  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/bella-vista\\_argentina\\_3864375](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/bella-vista_argentina_3864375)

Meteoblue (s/f). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para San Miguel de Tucumán*. Recuperado de:  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/san-miguel-de-tucum%c3%a1n\\_argentina\\_3836873](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/san-miguel-de-tucum%c3%a1n_argentina_3836873)

Middlebrooks, E. J. et al (1982). *Wastewater stabilization lagoon design performance and upgrading*. McMillan Publishing Co., New York.

Millipore (2017). *Relationship of MC-Media Pad E. coli & Coliform Plate Results with the Most Probable Number Method (MPN)*. Recuperado de:  
[https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/docs/Sigma-Aldrich/General\\_Information/1/mc-media-pad-conversion-table-mk.pdf](https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigma-aldrich/docs/Sigma-Aldrich/General_Information/1/mc-media-pad-conversion-table-mk.pdf)

Ministerio de Educación (2023). *Dirección de calidad educativa*. Recuperado de:  
<http://estadistica.educaciontuc.gov.ar/sistema/sistemas/mapa/tucuman/>

Ministerio de Salud Pública (2023). *Centros sanitarios*. Gobierno de Tucumán. Recuperado de: <https://msptucuman.gov.ar/centros-sanitarios/>

Parish, M.E., Braddock, R. J. & Graumlich, T. R. (1986). *Chemical and microbial characterization of citrus oil mill effluent*. Recuperado de:  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1986.tb11148.x>

Pozos Estrada, O., Fuentes, O. A., Sánchez, A., Rodal, E. A. & De Luna, F. (2017). *Análisis de los efectos del aire atrapado en transitorios hidráulicos en acueductos de bombeo*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131516000055>

Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina (2008). *Carta de Línea de Base Ambiental 2766-II, Tucumán. Boletín N°374*. Recuperado de:  
<https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2102>

Propalma (s/f). *El tratamiento de las aguas residuales*. Capítulo Undécimo. Recuperado de:  
<https://propalma.webcindario.com/>

Puchulu, María E. & Fernández, Diego S. (2014). *Características y distribución espacial de los suelos de la provincia de Tucumán*. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/270684499\\_Caracteristicas\\_y\\_Distribucion\\_Espacial\\_de\\_los\\_Suelos\\_de\\_la\\_Provincia\\_de\\_Tucuman](https://www.researchgate.net/publication/270684499_Caracteristicas_y_Distribucion_Espacial_de_los_Suelos_de_la_Provincia_de_Tucuman)

Repicky (s/f). *Sistemas de aireación para tratamiento de efluentes líquidos industriales y cloacales*. Recuperado de:  
<http://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>

Repicky (s/f). *Sopladores de aire y bombas de vacío de lóbulos rotativos*. Recuperado de:

<http://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sopladores-y-Bombas-RA-Repicky.pdf>

Ross, C. C., Valentin, G. E., Smith, B. M. & Pierce, J. P. (2003). *Recent advances and applications of dissolved air flotation for industrial pretreatment*. Recuperado de: <https://www.evoqua.com/siteassets/documents/products/clarification-separation/daf-recent-advances-paper.pdf>

Secretaría de Estado de Gestión Pública y Planeamiento (2015). *Diagnóstico municipal Bella Vista*. Recuperado de: [https://ods.tucuman.gov.ar/files/files/pdf/20190919\\_105843\\_Bella\\_Vista.pdf](https://ods.tucuman.gov.ar/files/files/pdf/20190919_105843_Bella_Vista.pdf)

SEMA Tucumán (2009). *Resolución N°030-SEMA/2009*. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Recuperado de: [http://www.sematicucuman.gob.ar/archivos\\_publicados/descarga/anio\\_carga\\_2021/iddocumento\\_445.pdf](http://www.sematicucuman.gob.ar/archivos_publicados/descarga/anio_carga_2021/iddocumento_445.pdf)

SENASA (2015). *Resolución 930/2009*. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Recuperado de: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-930-2009-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>

Servicio Meteorológico Nacional (2020). *Descarga de datos*. Recuperado de: <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

Sosa Villalobos, C. A. (2013). *Aplicación de un tratamiento biológico a las aguas residuales provenientes de una destilería de alcohol de caña, utilizando un reactor UASB*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: <https://oa.upm.es/14797/>

Tecnología del agua (2004). *Captación, tratamiento, distribución y depuración del agua y su impacto medioambiental*. Número: 249. Recuperado de: <https://books.google.co.ve/books?id=iGAEAAAAMBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Tineo, A. & García, M. G. (1996). *Ambientes hidrogeológicos del Gran San Miguel de Tucumán*. XIII Congreso Geológico Argentino. Actas IV: 351-361. Buenos Aires.

---

VaxaSoftware (2023). *Home*. Recuperado de: <http://www.vaxasoftware.com/index.html>

Warren C. J., Burgess W. & García M. G. (2005). *Hydrochemical associations and depth profiles of arsenic and fluoride in Quaternary loess aquifers of northern Argentina*. *Mineralogical Magazine* 69 (5): 877-886.

Zema, D. A., Andiloro, S., Bombino, G., Tamburino, V., Sidari, R. & Caridi, A. (2012). *Depuration in aerated ponds of citrus processing wastewater with a high concentration of essential oils*. Recuperado de: [https://www.academia.edu/15602585/Depuration\\_in\\_aerated\\_ponds\\_of\\_citrus\\_processing\\_wastewater\\_with\\_a\\_high\\_concentration\\_of\\_essential\\_oils](https://www.academia.edu/15602585/Depuration_in_aerated_ponds_of_citrus_processing_wastewater_with_a_high_concentration_of_essential_oils)

Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino A., Tamburino, V., Zappia, G. & Zimbone, S. M. (2018). *Valorisation of citrus processing waste: A review*. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30455006/>

Zema, D. A., Calabrò, P. S., Folino A., Tamburino, V., Zappia, G. & Zimbone, S. M. (2019). *Wastewater management in citrus processing industries: An overview of advantages and limits*. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/12/2481>

## Anexo I: Estudios preliminares

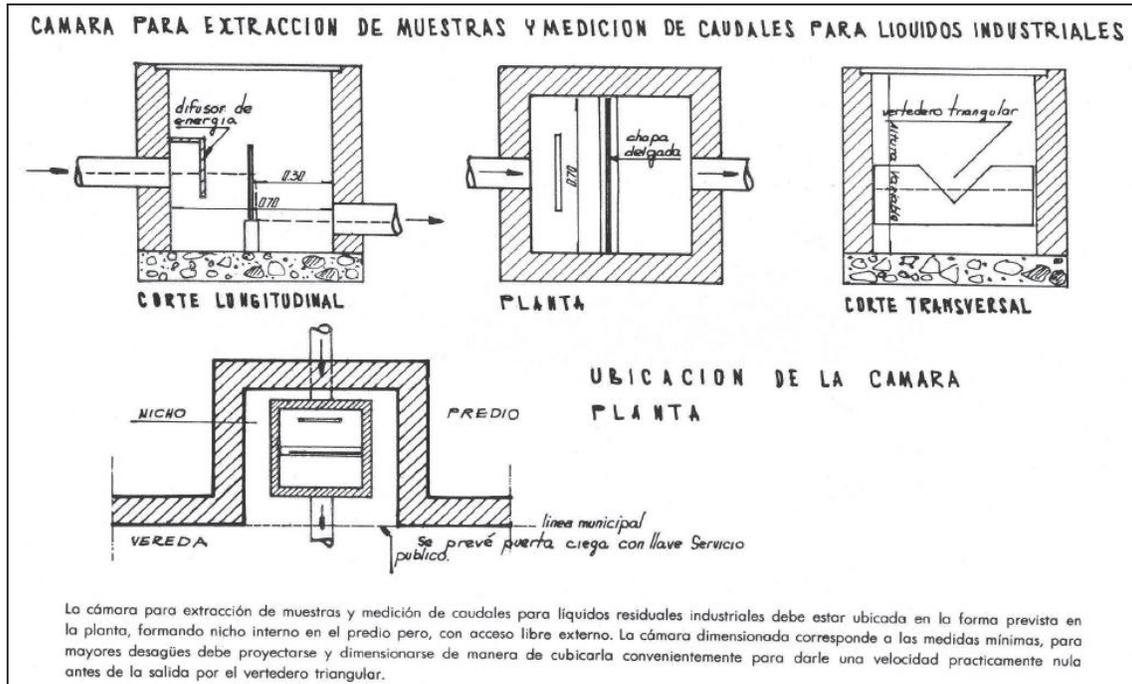
*Tabla I. Marco legal aplicable al proyecto. Fuente: elaboración propia.*

<b>LEGISLACIÓN SUPRANACIONAL</b>	
<b>Normativa</b>	<b>Descripción</b>
Ley N°24.375	Aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica adoptado el 5 de junio de 1992 en Río de Janeiro, República Federativa de Brasil.
Ley N°25.438	Aprueba el protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, Japón.
<b>LEGISLACIÓN NACIONAL</b>	
<b>Normativa</b>	<b>Descripción</b>
Art. 41 de la Constitución Nacional Argentina.	Establece el derecho de todos los habitantes a vivir en un ambiente sano y apto para el desarrollo humano introduciendo el concepto de desarrollo sustentable.
Ley N°25.675 (Dec. N°2413/2002)	Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, para la preservación y protección de la diversidad biológica y para la implementación del desarrollo sostenible en Argentina.
Ley N°24.051 (Dec. N°831/1993)	Establece los procedimientos de gestión de los residuos considerados peligrosos indicados en el Anexo I y Anexo II de dicha Ley.
Ley N° 25.612 (Dec. N°1343/2002)	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de los residuos industriales especiales y tiene como objetivo prevenir y minimizar los efectos negativos de la contaminación ambiental y proteger la salud de las personas.
Ley N°25.688	Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional de las mismas.
Ley N°20.284	Establece normas y regulaciones para el control de la contaminación atmosférica y tiene como objetivo principal proteger la salud de las personas y del ambiente.
Ley N°19.587 (Dec. N°351/79 y N°1338/96)	Determina las condiciones de seguridad que debe cumplir cualquier actividad industrial en todo el territorio de la República Argentina.

Ley N°24.557 (Dec. N°170/1996)	Establece un sistema integral para la prevención de los riesgos del trabajo y la reparación de los daños derivados de accidentes laborales o enfermedades profesionales.
Ley N°22.241 (Dec. N°691/81)	Establece el marco regulatorio para la conservación y preservación de los recursos naturales renovables del país, incluyendo la flora, la fauna, los suelos, el agua, el aire y el paisaje natural.
Ley N°25.743 (Dec. N°1022/2004)	Establece medidas para la protección, preservación y gestión del patrimonio arqueológico y paleontológico del país.
Ley N°26.331 (Dec. N°91/2009)	Establece el régimen de protección, conservación, y manejo sostenible de los bosques nativos del país.
Ley N°25.916 (Dec. N°1158/2004)	Establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios.
Decreto N°674/1989 y modificatorio (Dec. N°776/1992).	Establece el marco regulatorio para la protección de los recursos hídricos del territorio de la Nación Argentina.
Resolución N°177/2017 (modificada por la Res. N°303/2007)	Aprueba las normas operativas para la contratación de los seguros ambientales previstos por el artículo 22 de la Ley N°25.675.
Resolución N°607/2012	Establece la obligatoriedad de construir una cámara de toma de muestras y medición de caudales.
<b>LEGISLACIÓN PROVINCIAL</b>	
<b>Normativa</b>	<b>Descripción</b>
Ley N°6.253 (Dec. N°2204/1991)	Prohíbe realizar vuelcos de efluentes contaminantes a los cuerpos de agua superficiales, subterráneos y a los suelos, así como también, liberar emisiones gaseosas contaminantes a la atmósfera. Establece el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental.
Ley N°7.393	Adhesión de la provincia a la Ley Nacional N°25.675.
Ley N°6.605 (modificada por la Ley N°6.943)	Establece la adhesión a la Ley Nacional N°24.051 de Residuos Peligrosos. Crea el Registro Provincial de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos.
Ley N°7.139 (Dec. 480/2003)	Regula la concesión de agua subterránea para uso industrial.

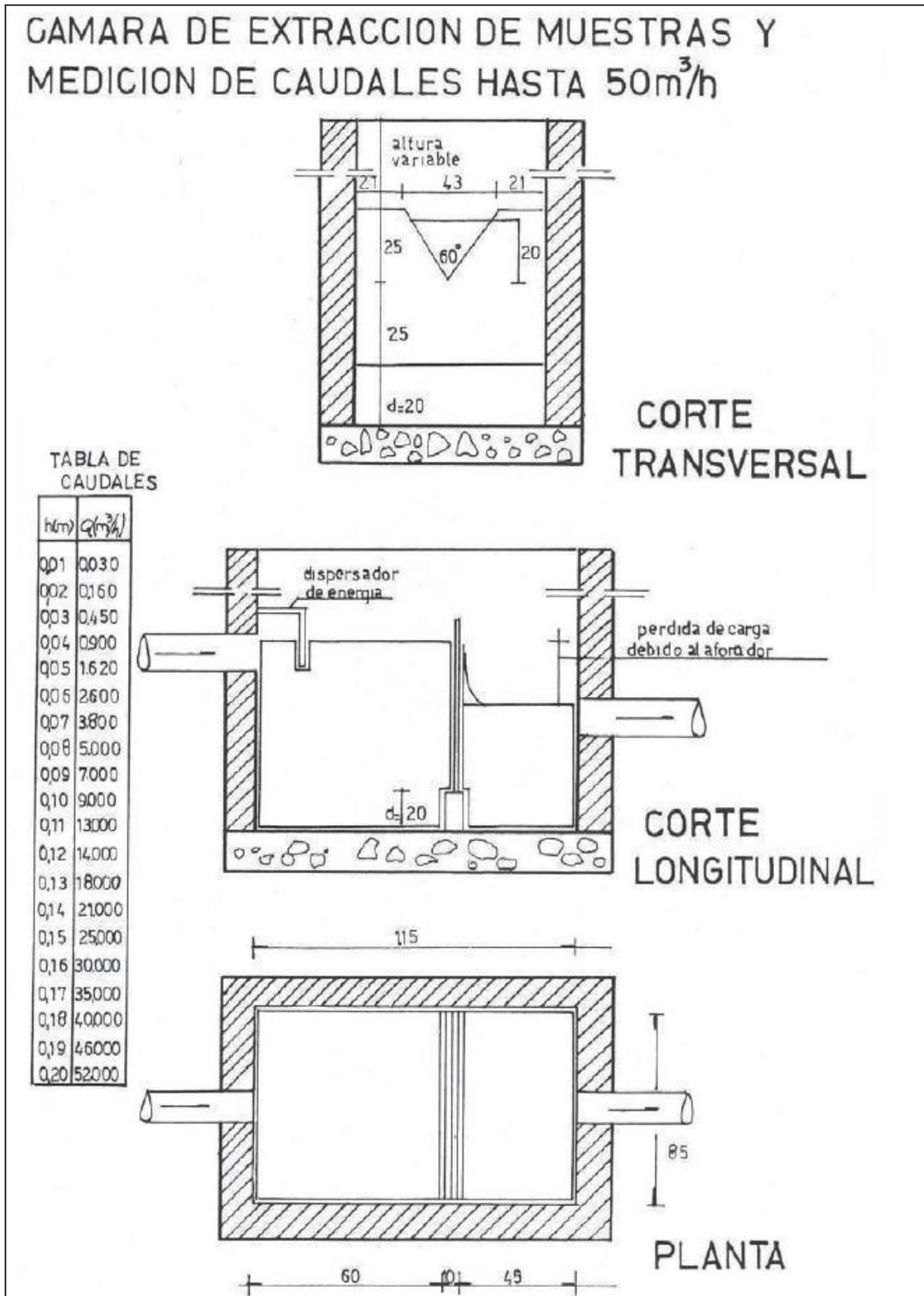
Ley N°6.290 (Dec. N°4050/2007)	Declara de interés público en todo el territorio de la Provincia, la acción oficial y privada que tienda a la conservación del suelo agrícola, entendiéndose por ello, al mantenimiento y mejoramiento de su capacidad productiva.
Ley N°8.177 (Dec. N°203/2010)	Regula la gestión integral de los Residuos Sólidos Urbanos en todo el territorio de la Provincia de Tucumán.
Ley N°6.291 (Dec. N°299/96 modificado por el Dec. N°350/97)	Regula las acciones relacionadas con el uso de agroquímicos.
Ley N°7.248 (Dec. N°4430/2008)	Regula el uso seguro de los fitosanitarios y el reciclaje de envases plásticos.
Ley N°7.165	Creación del Registro de Actividades Contaminantes.
Ley N°6.292	Se establece la protección de los recursos naturales renovables, de la fauna y flora y la conservación de las áreas protegidas.
Resolución N°38/2008	Crea el Registro Único de Generadores de Residuos Patológicos.
Resolución N°030/2009	Establece los niveles de calidad de los efluentes industriales y cloacales para ser descargados en un cuerpo de agua superficial o a través de la absorción por suelo.
Resolución N°294/1989	Establece las Normas de Calidad de Aire y valores guía para las emisiones provenientes de fuentes fijas.
Resolución N°196/2010	Establece el uso obligatorio de los Manifiestos de Transporte de Residuos Peligrosos, Certificado de Tratamiento, Certificado de Almacenamiento Temporal, y Certificado de Disposición Final según el caso.

## Anexo II: Análisis de las alternativas de tratamiento



**Figura I.** Especificaciones para la construcción de la cámara de extracción de muestras y medición de caudales para líquidos industriales.

Fuente: InfoLEG (s/f).



**Figura II.** Especificaciones para la construcción de la cámara de extracción de muestras y medición de caudales hasta 50 m<sup>3</sup>/h.

Fuente: InfoLEG (s/f).

## Anexo III: Memoria descriptiva

**Tabla II.** Ficha técnica de los tamices estáticos comercializados por la empresa Gedar.

Fuente: Gedar, s/f.

MODELO	CAUDAL DE AGUA ( m <sup>3</sup> /h)						
	LUZ DE PASO DE MALLA (mm)						
	0,15	0,25	0,5	0,75	1	1.5	2
GTE 300	9	18	22	27	37	42	45
GTE 500	13	29	39	40	56	62	67
GTE 600	18	36	45	54	75	83	90
GTE 800	21	48	60	72	99	110	120
GTE 1000	25	60	75	90	125	138	150
GTE 1200	30	75	92	112	152	169	185
GTE 1500	36	90	110	135	180	200	220
GTE 2000	49	120	150	180	250	275	300

NOTA: Estos valores corresponden a caudales con aguas con un contenido en sólido normal.

**Tabla III.** Ficha técnica de las bombas dosificadoras electrónicas.

Fuente: Bombas Hasa (2021).

Modelo Model Modèle	Caudal max. Max. flow Débit max. (l/h)	Presión max. Max. pressure Pression max. (kg/cm <sup>2</sup> )
FC-07.01	1	7
FCO-07.03	3	7
FCO-05.05	5	5
GCO-10.10	10	10
VMS MF 07.06	6	7
VMS MF 05.10	10	5

**Tabla IV.** Ficha técnica de la geomembrana de PVC.

Fuente: Coripa (s/f).

FlexPlan®	TIPO	RESIST. A LA TRACCIÓN (ASTM 882)	ALARG. A LA ROTURA (ASTM 882)	RESIST. AL DESGARRE (ASTM D 1004)	DOBLADO A BAJA TEMP. (ASTM D 1790)	ESTAB. DIMENSIONAL (ASTM D 1204)
FLEXPLAN® ST	PVC Standard	10 MPa (mín)	200% (mín)	3 daN/mm (mín)	-20°C	5% (máx)

**Tabla V. Ficha técnica del equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco.**

Fuente: Ekoton (s/f).

Modelo*	Capacidad de tratamiento, kgDS/h (productividad hidráulica, m³/h)				
	Lodos de EDAR municipales			Lodos-DAF*	
	Contenido de sólidos secos				
	0.2%	1%	3%	5%	10%
MDQ-101 / MDQ-101 C	3 (1.5)	5 (0.5)	6 (0.2)	12 (0.24)	12 (0.12)
MDQ-102 / MDQ-102 C	6 (3.0)	10 (1.0)	12 (0.4)	24 (0.48)	24 (0.24)
MDQ-103 / MDQ-103 C	9 (4.5)	15 (1.5)	18 (0.6)	36 (0.72)	36 (0.36)
MDQ-104 / MDQ-104 C	12 (6.0)	20 (2.0)	24 (0.8)	48 (0.96)	48 (0.48)
MDQ-105 / MDQ-105 C	15 (7.5)	25 (2.5)	30 (1.0)	60 (1.20)	60 (0.60)
MDQ-201 / MDQ-201 C	6 (3.0)	15 (1.5)	18 (0.6)	36 (0.72)	36 (0.36)
MDQ-202 / MDQ-202 C	12 (6.0)	30 (3.0)	36 (1.2)	72 (1.44)	72 (0.72)
MDQ-203 / MDQ-203 C	18 (9.0)	45 (4.5)	54 (1.8)	108 (2.16)	108 (1.08)
MDQ-204 / MDQ-204 C	24 (12.0)	60 (6.0)	72 (2.4)	144 (2.88)	144 (1.44)
MDQ-205 / MDQ-205 C	30 (15.0)	75 (7.5)	90 (3.0)	180 (3.60)	180 (1.80)
MDQ-351 C	20 (10.0)	60 (6.0)	72 (2.4)	160 (3.20)	160 (1.60)
MDQ-352 C	40 (20.0)	120 (12.0)	144 (4.8)	320 (6.40)	320 (3.20)
MDQ-353 C	60 (30.0)	180 (18.0)	216 (7.2)	480 (9.60)	480 (4.80)
MDQ-354 C	80 (40.0)	240 (24.0)	288 (9.6)	640 (12.80)	640 (6.40)
MDQ-355 C	100 (50.0)	300 (30.0)	360 (12.0)	800 (16.0)	800 (8.0)
MDQ-356 C	120 (60.0)	360 (36.0)	432 (14.4)	960 (19.2)	960 (9.6)
MDQ-351 CL	26 (13.0)	85 (8.5)	100 (3.3)	200 (4.0)	200 (2.0)
MDQ-352 CL	52 (23.0)	170 (17.0)	200 (6.7)	400 (8.0)	400 (4.0)
MDQ-353 CL	78 (39.0)	255 (25.5)	300 (9.0)	600 (12.0)	600 (6.0)
MDQ-354 CL	104 (52.0)	340 (34.0)	400 (13.3)	800 (16.0)	800 (8.0)
MDQ-355 CL	130 (65.0)	425 (42.5)	500 (16.5)	1000 (20.0)	1000 (10.0)
MDQ-356 CL	156 (78.0)	510 (51.0)	600 (19.8)	1200 (24.0)	1200 (12.0)

\* - Esta información se basa en la experiencia de deshidratación de lodos-DAF con concentración relativamente alta de grasas y aceites (40-60%) en plantas de procesamiento de carne (matanza, avicultura) y plantas de procesamiento de leche, etc.

**Tabla VI. Ficha técnica del equipo deshidratador de prensa de tornillo multidisco.**

Fuente: Ekoton (s/f).

Modelo	Diámetro del tornillo (mm) x número de tornillos.	Consumo nominal de agua de limpieza, l/min	Total de consumo de agua de limpieza *, l/h	Presión nominal agua de lavado, MPa	Potencia instalada, kW	Dimensiones L x A x A (mm)	Peso seco / en funcionamiento, kg
MDQ-101 C	100 x 1	16	16	0.15-0.3	0.24	1910 x 820 x 1450	310 / 510
MDQ-102 C	100 x 2	32	32		0.36		400 / 610
MDQ-103 C	100 x 3	48	48		0.54		500 / 750
MDQ-104 C	100 x 4	32	64		0.66	2125 x 1415 x 1450	650 / 1000
MDQ-105 C	100 x 5	48	80		0.78		750 / 1150
MDQ-201 C	200 x 1	33	33	0.2-0.35	0.43	2630 x 1020 x 1650	500 / 1000
MDQ-202 C	200 x 2	66	66		0.68		600 / 1100
MDQ-203 C	200 x 3	99	99		1.12	2640 x 1320 x 1650	750 / 1300
MDQ-204 C	200 x 4	66	132		1.37	2785 x 1905 x 1650	1000 / 1500
MDQ-205 C	200 x 5	99	165		1.62		1100 / 1600
MDQ-351 C	350 x 1	33	33		1.12		3785 x 1345x 2015
MDQ-352 C	350 x 2		66		2.05	3945 x 1505x 2080	2280 / 3800
MDQ-353 C	350 x 3		99	3.35	4185 x 1830x 2120	3380 / 5650	
MDQ-354 C	350 x 4		132	4.5	4485 x 2290 x 2240	4400 / 8000	
MDQ-355 C	350 x 5		165	5.25	4735 x 2930 x 2240	5300 / 9400	
MDQ-356 C	350 x 6		198	6.0	4935 x 3430 x 2240	6200 / 11200	
MDQ-351 CL	350 x 1	40	40	0.2-0.4	1.12	4175 x 1345x 2015	1380 / 2320
MDQ-352 CL	350 x 2		80		2.05	4335 x 1505x 2080	2550 / 4400
MDQ-353 CL	350 x 3		120		3.35	4575 x 1830x 2120	3800 / 6500
MDQ-354 CL	350 x 4		160		4.5	4870 x 2290 x 2240	5000 / 9200
MDQ-355 CL	350 x 5		200		5.25	5125 x 2930 x 2240	5900 / 10500
MDQ-356 CL	350 x 6		240		6.0	5325 x 3430 x 2240	7100 / 12700

\* - Recomendamos el inicio de procesos de enjuague por diez minutos con una duración de diez segundos para cada válvula de enjuague.



SOLDABLE



**Tubo soldable PVC CL 10**

Código	Cotas (mm)	B (mm)	D (mm)	e (mm)	L (mm)
0013	20	32	20	1.0	6000
0014	25	32	25	1.2	6000
0015	32	32	32	1.6	6000
0016	40	32	40	2.0	6000
*0026	50	43	50	2.4	6000
*0027	63	48	60	3.0	6000
*0028	75	70	75	3.6	6000
0029	90	77	85	4.3	6000
*0030	110	82	110	5.3	6000
0050	125	85	125	6	6000
0069	140	85	140	6.7	6000
0070	160	92	160	7.7	6000
0076	200	108	200	9.6	6000

Figura III. Ficha técnica de las tuberías seleccionadas para el sistema de conducción del efluente.

Fuente: Catálogo Tigre (2017).

Tabla VII. Ficha técnica de las bombas seleccionadas para la impulsión del efluente, modelo Minipaf.

Fuente: Bombas Hasa (2021).

Modelo Model Modèle	P2		I (A)			Ø Imp	Altura manométrica / Height / Hauteur (m)											Turbina Impeller Turbine	Ø Sólidos Solides Solides (mm)
	kW	CV	1~ 230V	3~ 230V	3~ 400V														
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
MINIPAF-4	0,37	0,5	-	-	1,1	1 1/4"	15	14	12	11	10	8	7	5	3	2		Abierta	11
MINIPAF M-4	0,37	0,5	2,8	-	-	1 1/4"	15	14	12	11	10	8	7	5	3	2		Abierta	11
MINIPAF-7	0,55	0,75	-	3,7	2,2	1 1/2"	20	17	15	14	12	10	8	6	2	0,6		Abierta	18
MINIPAF M-7	0,55	0,75	4,1	-	-	1 1/2"	20	17	15	14	12	10	8	6	2	0,6		Abierta	18
MINIPAF-10	0,75	1	-	3,9	2,3	1 1/2"	24	23	20	17	15	13	10	8	4	3	0,6	Abierta	18
MINIPAF M-10	0,75	1	4,3	-	-	1 1/2"	24	23	20	17	15	13	10	8	4	3	0,6	Abierta	18
MINIPAF-4 D	0,37	0,5	-	-	1,2	1 1/4"	12	10	9	7	5	2	1					Desplazada	25
MINIPAF M-4 D	0,37	0,5	3,3	-	-	1 1/4"	12	10	9	7	5	2	1					Desplazada	25
MINIPAF-7 D	0,55	0,75	-	3,7	2,2	1 1/2"	16	13	11	8	5	3	1					Desplazada	35
MINIPAF M-7 D	0,55	0,75	4,1	-	-	1 1/2"	16	13	11	8	5	3	1					Desplazada	35
MINIPAF-10 D	0,75	1	-	3,9	2,3	1 1/2"	18	17	13	11	8	6	4	1				Desplazada	35
MINIPAF M-10 D	0,75	1	4,3	-	-	1 1/2"	18	17	13	11	8	6	4	1				Desplazada	35
MINIPAF-15 D	1,1	1,5	-	4,2	2,4	2"	30	26	25	23,5	21	18	14,5	11,5	9	6	2	Desplazada	45
MINIPAF M-15 D	1,1	1,5	7,5	-	-	2"	30	26	25	23,5	21	18	14,5	11,5	9	6	2	Desplazada	45

**Tabla VIII.** Ficha técnica de las bombas seleccionadas para la impulsión del efluente, modelo Supersand. Fuente: Bombas Hasa (2021).

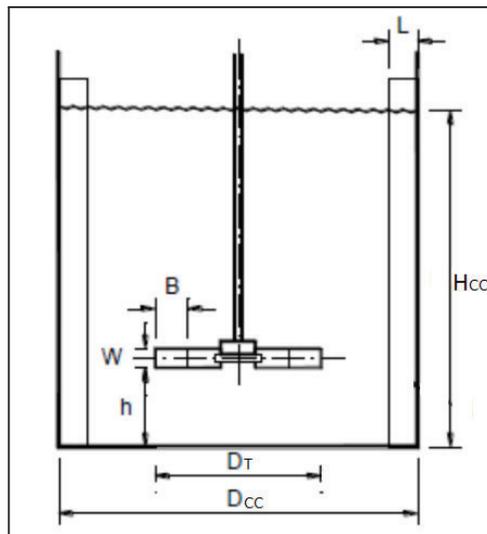
Modelo Model Modèle	P2		I (A)			Ø Imp	Altura manométrica / Height / Hauteur (m)										Ø Sólidos Solides (mm)
	kW	CV	1~ 230V	3~ 400V	3~ 690V		5	7	10	12	15	17	20	25	30	35	
SUPERSAND 150 M	1,1	1,5	8,2	-	-	2"	23000	20000	18000	14000	8900						8
SUPERSAND 200 M	1,5	2	10,0	-	-	3"	43400	39000	32300	25500	14400	4500					10
SUPERSAND 200 T	1,5	2	-	3,5	-	3"	43400	39000	32300	25500	14400	4500					10
SUPERSAND 300 T	2,2	3	-	5,1	-	3"	52200	48000	42100	36500	29900	22500	11700				10
SUPERSAND 500 T	3,8	5	-	8,3	-	3"	65800	62000	57100	52800	47100	42000	34200	18000			10
SUPERSAND 750 T	5,5	7,5	-	11,6	6,7	4"	101400	96600	90000	84000	74400	66000	55800	32400			10
SUPERSAND 1000 T	7,5	10	-	15,3	8,8	4"	108000	104400	100200	96000	90000	85800	78300	65700	48000	26200	10
SUPERSAND 2000 T	15	20	-	30,0	17,3	6"	157000	151500	144000	138600	131000	124000	114000	96000	76800	54000	15
SUPERSAND AG 300 T	2,2	3	-	5,1	-	3"	50700	46500	40200	34800	25800	18000	3300				10
SUPERSAND AG 500 T	3,8	5	-	8,3	-	3"	65100	62400	57300	53000	46800	40500	30300	6600			10

## Anexo IV: Memoria de cálculo de diseño

**Tabla IX.** Estimación del caudal medio horario para la industria citrícola.

Fuente: elaboración propia.

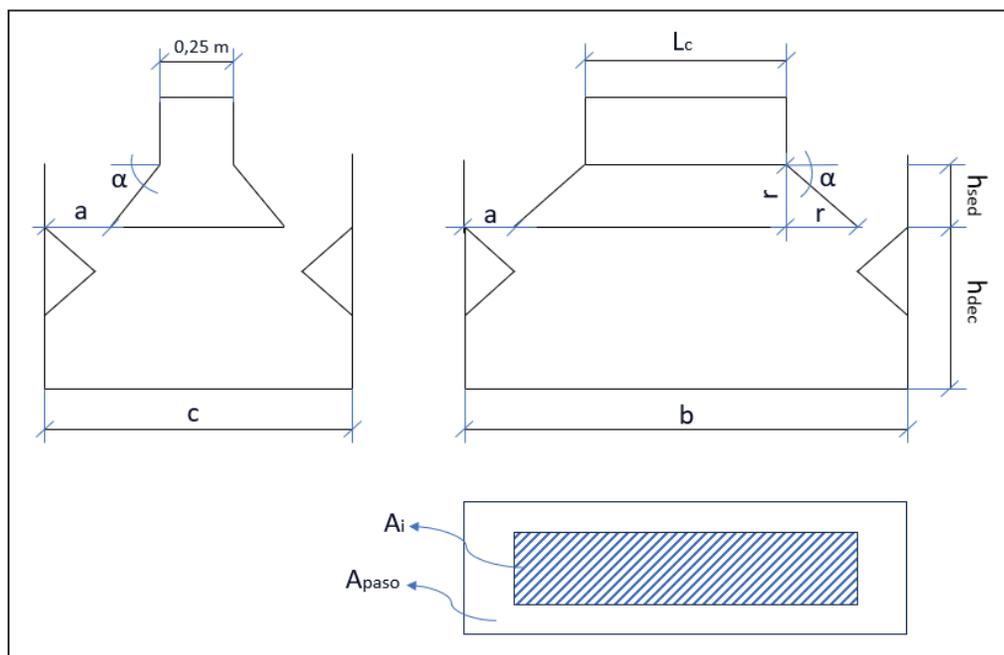
Periodo (horas)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /h)	Periodo (horas)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /h)
1	8,00	13	42,00
2	12,00	14	49,00
3	14,00	15	37,00
4	15,00	16	30,00
5	16,00	17	28,00
6	18,00	18	25,00
7	20,00	19	20,00
8	22,00	20	18,00
9	25,00	21	16,00
10	30,00	22	12,00
11	35,00	23	10,00
12	38,00	24	8,00



**Figura IV.** Medidas de la cámara de coagulación.

**Tabla X.** Tiempo de retención hidráulico ( $\theta$ ) según la temperatura del efluente ( $T_e$ ) y el caudal ( $Q_{med}$  o  $Q_{max}$ ) para el diseño de reactor UASB. Fuente: Cátedra de "Diseño de sistemas de tratamientos biológicos para efluentes líquidos".

$T_e$ (°C)	$\theta$ (h) para $Q_{med}$	$\theta$ (h) para $Q_{max}$
15 a 18	$\geq 10,00$	$\geq 7,00$
18 a 22	$\geq 8,00$	$\geq 5,50$
22 a 25	$\geq 7,00$	$\geq 4,50$
> 25	$\geq 6,00$	$\geq 4,00$



**Figura V.** Diagrama del dimensionamiento del reactor UASB con el separador trifásico o campana.

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XI.** Solubilidad del oxígeno en agua expuesta a aire saturado de agua a una presión de 760 mmHg. Fuente: Cátedra de "Diseño de sistemas de tratamientos biológicos para efluentes líquidos".

Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L	Temp. °C	Solubility mg/L
0	14.62	16	9.87	32	7.31
1	14.22	17	9.67	33	7.18
2	13.83	18	9.47	34	7.07
3	13.46	19	9.28	35	6.95
4	13.11	20	9.09	36	6.84
5	12.77	21	8.92	37	6.73
6	12.45	22	8.74	38	6.62
7	12.14	23	8.58	39	6.52
8	11.84	24	8.42	40	6.41
9	11.56	25	8.26	41	6.31
10	11.29	26	8.11	42	6.21
11	11.03	27	7.97	43	6.12
12	10.78	28	7.83	44	6.02
13	10.54	29	7.69	45	5.93
14	10.31	30	7.56	46	5.84
15	10.08	31	7.43	47	5.74

**Tabla XII.** Valores de calibración para varias presiones atmosféricas y altitudes. Fuente: Cátedra de "Diseño de sistemas de tratamientos biológicos para efluentes líquidos".

Pressure			Altitude		Calibration Value (%)
inches Hg	mm Hg	kPa	ft.	m	
30.23	760	102.3	276	84	101
29.92	760	101.3	0	0	100
29.61	752	100.3	278	85	99
29.33	745	99.3	558	170	98
29.02	737	98.3	841	256	97
28.74	730	97.3	1126	343	96
28.43	722	96.3	1413	431	95
28.11	714	95.2	1703	519	94
27.83	707	94.2	1995	608	93
27.52	699	93.2	2290	698	92
27.24	692	92.2	2587	789	91
26.93	684	91.2	2887	880	90
26.61	676	90.2	3190	972	89
26.34	669	89.2		1066	88
26.02	661	88.2	3804	1160	87
25.75	654	87.1	4115	1254	86
25.43	646	86.1	4430	1350	85
25.12	638	85.1	4747	1447	84
24.84	631	84.1	5067	1544	83
24.53	623	83.1	5391	1643	82
24.25	616	82.1	5717	1743	81
23.94	608	81.1	6047	1843	80
23.62	600	80.0	6381	1945	79
23.35	593	79.0	6717	2047	78
23.03	585	78.0	7058	2151	77
22.76	578	77.0	7401	2256	76
22.44	570	76.0	7749	2362	75
22.13	562	75.0	8100	2469	74
21.85	555	74.0	8455	2577	73
21.54	547	73.0	8815	2687	72
21.26	540	71.9	9178	2797	71
20.94	532	70.9	9545	2909	70
20.63	524	69.9	9917	3023	69
20.35	517	68.9	10293	3137	68
20.04	509	67.9	10673	3253	67
19.76	502	66.9	11058	3371	66

**Tabla XIII.** Relaciones geométricas para tuberías de sección circular parcialmente llenas.

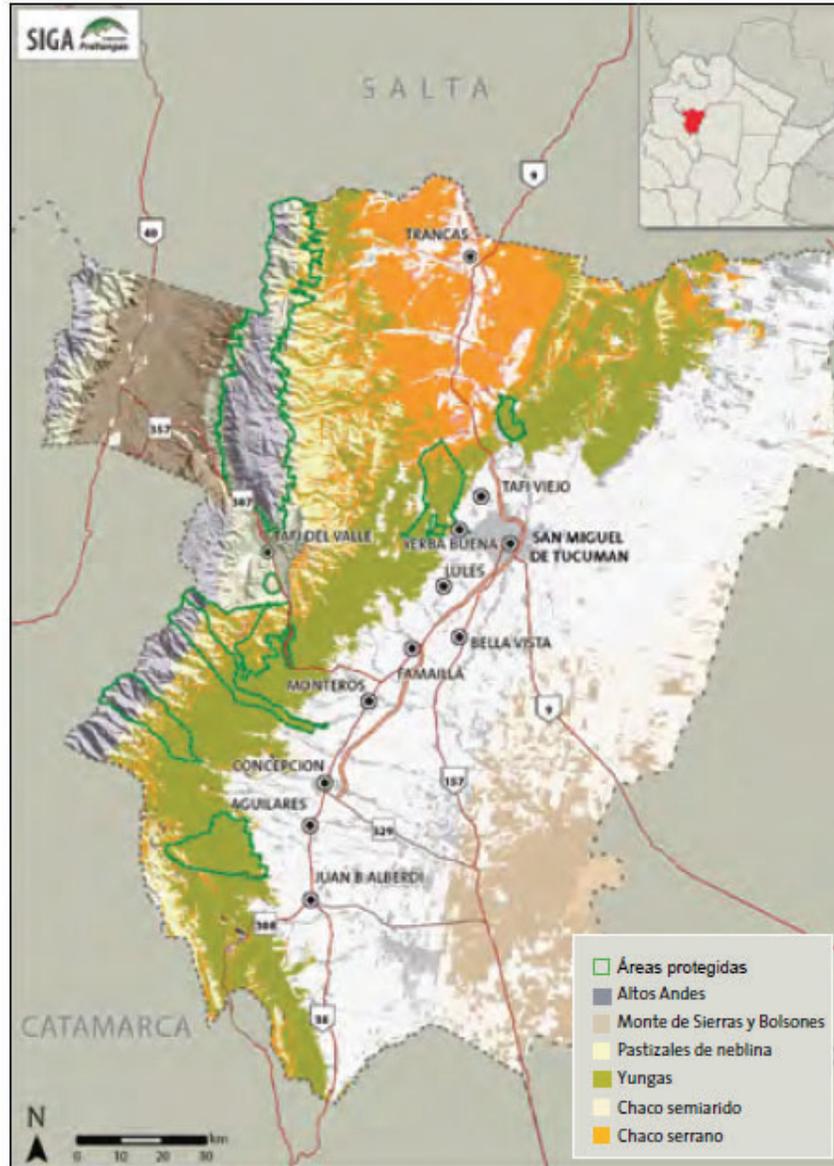
$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$	$\frac{y}{\phi}$	$\frac{A}{\phi^2}$	$\frac{P}{\phi}$	$\frac{R}{\phi}$
0,01	0,0013	0,2003	0,0066	0,51	0,4027	1,5908	0,2531
0,02	0,0037	0,2838	0,0132	0,52	0,4127	1,6108	0,2562
0,03	0,0069	0,3482	0,0197	0,53	0,4227	1,6308	0,2592
0,04	0,0105	0,4027	0,0262	0,54	0,4327	1,6509	0,2621
0,05	0,0147	0,4510	0,0326	0,55	0,4426	1,6710	0,2649
0,06	0,0192	0,4949	0,0389	0,56	0,4526	1,6911	0,2678
0,07	0,0242	0,5355	0,0451	0,57	0,4625	1,7113	0,2703
0,08	0,0294	0,5735	0,0513	0,58	0,4724	1,7315	0,2728
0,09	0,0350	0,6094	0,0575	0,59	0,4822	1,7518	0,2753
0,10	0,0409	0,6435	0,0635	0,60	0,4920	1,7722	0,2776
0,11	0,0470	0,6761	0,0695	0,61	0,5018	1,7926	0,2799
0,12	0,0534	0,7075	0,0755	0,62	0,5115	1,8132	0,2821
0,13	0,0600	0,7377	0,0813	0,63	0,5212	1,8338	0,2842
0,14	0,0668	0,7670	0,0871	0,64	0,5308	1,8546	0,2862
0,15	0,0739	0,7954	0,0929	0,65	0,5404	1,8755	0,2881
0,16	0,0811	0,8230	0,0986	0,66	0,5499	1,8965	0,2900
0,17	0,0885	0,8500	0,1042	0,67	0,5594	1,9177	0,2917
0,18	0,0961	0,8763	0,1097	0,68	0,5687	1,9391	0,2933
0,19	0,1039	0,9021	0,1152	0,69	0,5780	1,9608	0,2948
0,20	0,1118	0,9273	0,1206	0,70	0,5872	1,9823	0,2962
0,21	0,1199	0,9521	0,1259	0,71	0,5964	2,0042	0,2975
0,22	0,1281	0,9764	0,1312	0,72	0,6054	2,0264	0,2987
0,23	0,1365	1,0004	0,1364	0,73	0,6143	2,0488	0,2998
0,24	0,1449	1,0239	0,1416	0,74	0,6231	2,0715	0,3008
0,25	0,1535	1,0472	0,1466	0,75	0,6319	2,0944	0,3017
0,26	0,1623	1,0701	0,1516	0,76	0,6405	2,1176	0,3024
0,27	0,1711	1,0928	0,1566	0,77	0,6489	2,1412	0,3031
0,28	0,1800	1,1152	0,1614	0,78	0,6573	2,1652	0,3036
0,29	0,1890	1,1374	0,1662	0,79	0,6655	2,1895	0,3039
0,30	0,1982	1,1593	0,1709	0,80	0,6736	2,2143	0,3042
0,31	0,2074	1,1810	0,1756	0,81	0,6815	2,2395	0,3043
0,32	0,2167	1,2025	0,1802	0,82	0,6893	2,2653	0,3043
0,33	0,2260	1,2239	0,1847	0,83	0,6969	2,2916	0,3041
0,34	0,2355	1,2451	0,1891	0,84	0,7043	2,3186	0,3038
0,35	0,2450	1,2661	0,1935	0,85	0,7115	2,3462	0,3033
0,36	0,2546	1,2870	0,1978	0,86	0,7186	2,3746	0,3028
0,37	0,2642	1,3078	0,2020	0,87	0,7254	2,4039	0,3018
0,38	0,2739	1,3284	0,2062	0,88	0,7320	2,4341	0,3007
0,39	0,2836	1,3490	0,2102	0,89	0,7384	2,4655	0,2995
0,40	0,2934	1,3694	0,2142	0,90	0,7445	2,4981	0,2980
0,41	0,3032	1,3898	0,2182	0,91	0,7504	2,5322	0,2963
0,42	0,3130	1,4101	0,2220	0,92	0,7560	2,5681	0,2944
0,43	0,3229	1,4303	0,2258	0,93	0,7612	2,6061	0,2921
0,44	0,3328	1,4505	0,2295	0,94	0,7662	2,6467	0,2895
0,45	0,3428	1,4706	0,2331	0,95	0,7707	2,6906	0,2865
0,46	0,3527	1,4907	0,2366	0,96	0,7749	2,7389	0,2829
0,47	0,3627	1,5108	0,2401	0,97	0,7785	2,7934	0,2787
0,48	0,3727	1,5308	0,2435	0,98	0,7816	2,8578	0,2735
0,49	0,3827	1,5508	0,2468	0,99	0,7841	2,9413	0,2666
0,50	0,3927	1,5708	0,2500	1,00	0,7854	3,1416	0,2500

**Tabla XIV.** Coeficientes de pérdida de carga de los accesorios a instalar en cada tramo del sistema de conducción e impulsión del efluente. Fuente: elaboración propia.

Tramo	Accesorio	Coefficiente de pérdida de carga ( $K_{acc}$ )	Total
1.1	Tubo de Venturi	2,50	4,50
	Válvula antirretorno	2,00	
1.2	Válvula esclusa	0,17	1,67
	2 Codos de 90° de radio corto	0,75	
1.3	Tubo de Venturi	2,50	4,34

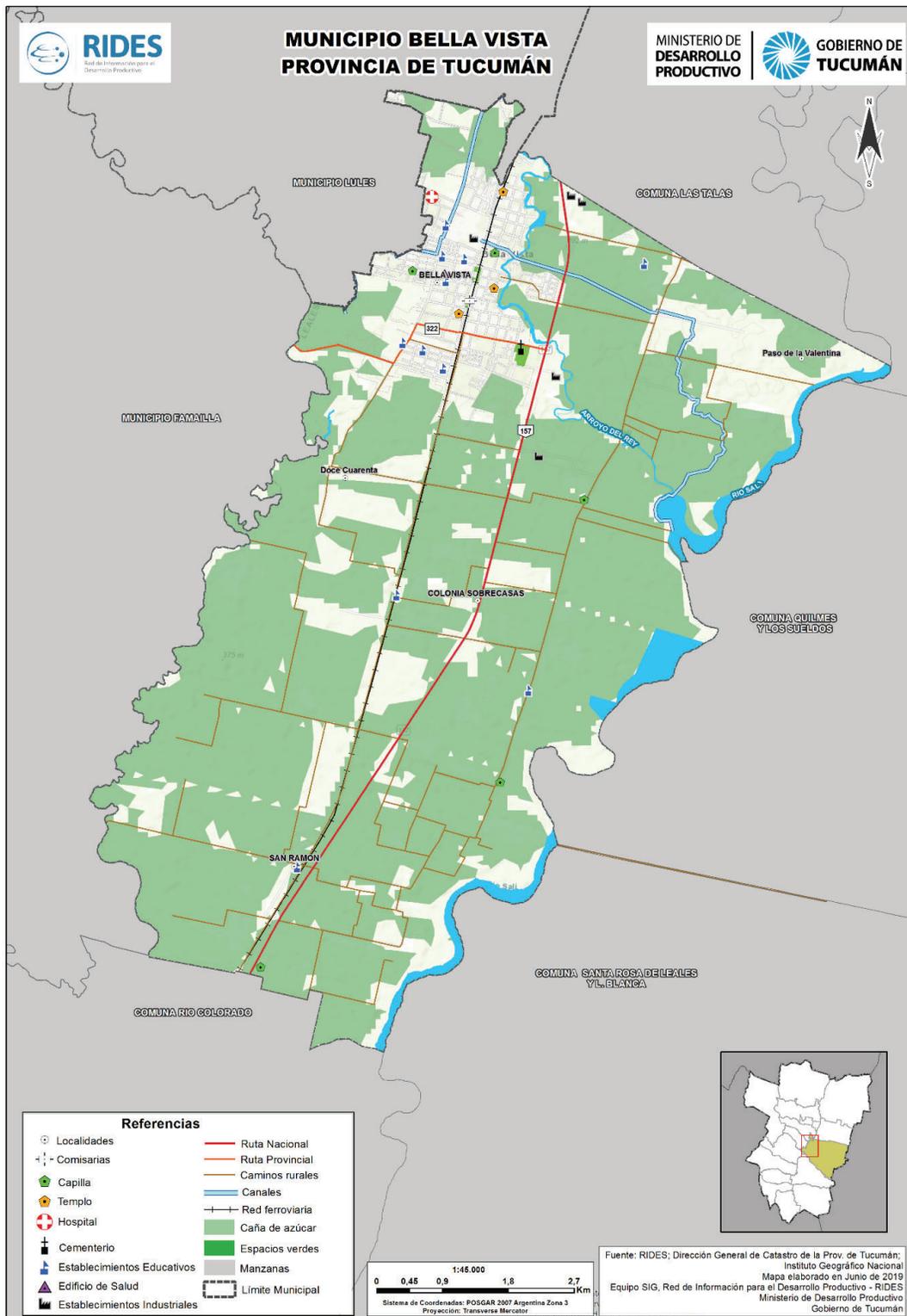
	2 Válvulas esclusas	0,17	
	4 Codos de 90° de radio corto	0,75	
1.4	Tubo de Venturi	2,50	4,67
	Válvula esclusa	0,17	
	Válvula antirretorno	2,00	
2.1	Tubo de Venturi	2,50	4,50
	Válvula antirretorno	2,00	
2.2	Válvula esclusa	0,17	0,17
3.1	Tubo de Venturi	2,50	4,92
	Válvula esclusa	0,17	
	3 Codos de 90° de radio corto	0,75	
3.2	Tubo de Venturi	2,50	5,09
	2 Válvulas esclusas	0,17	
	3 Codos de 90° de radio corto	0,75	
3.3	3 Codos de 90° de radio corto	0,75	2,25
3.4	3 Codos de 90° de radio corto	0,75	2,25
3.5	Válvula esclusa	0,17	1,67
	2 Codos de 90° de radio corto	0,75	
4.3	Válvula antirretorno	2,00	3,50
	2 Codos de 90° de radio corto	0,75	
5.2	Válvula esclusa	0,17	1,67
	2 Codos de 90° de radio corto	0,75	
6.1	Válvula esclusa	0,17	2,92
	Codo de 90° de radio corto	0,75	
	Válvula antirretorno	2,00	
6.2	2 Codos de 90° de radio corto	0,75	1,50

**Anexo V: Estudio de Impacto Ambiental**



**Figura VI. Ecorregiones de la provincia de Tucumán.**

Fuente: Fundación ProYungas (2014).



**Figura VII.** Mapa del Municipio de Bella Vista. Localización de industrias, servicios, vías de comunicación, recursos naturales, económicos y actividades humanas del Municipio de Bella Vista. Provincia de Tucumán. Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán.

**Tabla XV. Valoración de los impactos ambientales en la etapa constructiva. Parte 1.**

Fuente: elaboración propia.

ETAPA: CONSTRUCTIVA														
ACCIÓN	Efecto	S	I	EX	MO	PE	RE	SI	AC	EF	PR	MC	PUNTAJE	
Limpieza y despeje del terreno	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire	-1	3	2	4	1	1	1	1	4	1	1	-27	
	Nivel de ruido	-1	3	2	8	1	1	1	1	4	1	1	-31	
	Topografía	-1	8	1	4	4	1	1	1	4	4	2	-47	
	Propiedades físicas	-1	8	1	4	4	1	1	1	4	4	2	-47	
	Flora	-1	8	1	4	4	1	1	1	4	4	2	-47	
	Fauna	-1	3	1	4	4	1	1	1	4	4	2	-32	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial													0
	Paisaje	-1	8	1	4	4	1	1	1	4	4	8	-53	
Movimiento de suelo: excavación, nivelación y relleno	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire	-1	8	2	4	1	1	1	1	4	1	1	-42	
	Nivel de ruido	-1	8	2	8	1	1	1	1	4	1	1	-46	
	Topografía	-1	12	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-60	
	Propiedades físicas	-1	12	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-60	
	Flora												0	
	Fauna	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-48	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial													0
	Paisaje	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	8	-54	
Montaje y funcionamiento del obrador	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire												0	
	Nivel de ruido	-1	2	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-23	
	Topografía	-1	2	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-23	
	Propiedades físicas	-1	2	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-23	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial													0
	Paisaje													0
Acopio de materiales de construcción	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire	-1	3	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-26	
	Nivel de ruido	-1	3	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-26	
	Topografía	-1	2	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-23	
	Propiedades físicas	-1	2	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-23	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial													0
	Paisaje													0

**Tabla XVI. Valoración de los impactos ambientales en la etapa constructiva. Parte 2.**

Fuente: elaboración propia.

Tráfico de vehículos y maquinaria	Calidad del agua superficial												0
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire	-1	8	2	8	1	1	1	1	4	1	1	-48
	Nivel de ruido	-1	8	2	8	1	1	1	1	4	1	1	-48
	Topografía	-1	8	1	4	1	1	1	1	4	1	2	-41
	Propiedades físicas	-1	8	1	4	1	1	1	1	4	1	2	-41
	Flora												0
	Fauna	-1	8	1	4	1	1	1	1	4	1	2	-41
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos												0
	Infraestructura vial	-1	2	4	4	2	1	1	1	4	2	2	-31
	Paisaje												0
Instalación eléctrica y sanitaria	Calidad del agua superficial												0
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire												0
	Nivel de ruido	-1	3	2	4	1	1	1	1	4	1	1	-27
	Topografía	-1	3	2	4	4	2	1	1	4	4	2	-35
	Propiedades físicas	-1	3	2	4	4	2	1	1	4	4	2	-35
	Flora	-1	3	2	4	4	2	1	1	4	4	2	-35
	Fauna	-1	3	2	4	4	2	1	1	4	4	2	-35
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos												0
	Infraestructura vial												0
	Paisaje												0
Implantación de la infraestructura	Calidad del agua superficial												0
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire	-1	3	2	2	1	1	1	1	4	2	1	-26
	Nivel de ruido	-1	12	2	8	1	1	1	1	4	2	1	-59
	Topografía	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-48
	Propiedades físicas	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-48
	Flora												0
	Fauna	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-48
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos												0
	Infraestructura vial												0
	Paisaje	-1	8	1	4	4	2	1	1	4	4	8	-54
Parquización y forestación	Calidad del agua superficial												0
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire												0
	Nivel de ruido												0
	Topografía												0
	Propiedades físicas												0
	Flora												0
	Fauna												0
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos												0
	Infraestructura vial												0
	Paisaje												0

**Tabla XVII. Valoración de los impactos ambientales en la etapa operativa. Parte 1.**

Fuente: elaboración propia.

ETAPA: OPERATIVA														
ACCIÓN	Efecto	S	I	EX	MO	PE	RE	SI	AC	EF	PR	MC	PUNTAJE	
Funcionamiento del proyecto	Calidad del agua superficial	-1	1	2	2	4	4	1	4	4	4	10	-40	
	Volumen de agua del acuífero	-1	3	8	2	4	2	1	1	4	4	2	-45	
	Calidad del aire	-1	3	4	4	4	4	1	4	4	4	10	-52	
	Nivel de ruido	-1	2	2	4	4	1	1	1	4	4	1	-30	
	Topografía												0	
	Propiedades físicas												0	
	Flora												0	
	Fauna	-1	2	2	4	4	1	1	1	4	4	1	-30	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos	-1	3	4	1	4	1	1	4	4	4	2	-38	
Infraestructura vial													0	
Paisaje													0	
Consumo de agua de pozo	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero	-1	3	8	2	4	2	1	1	4	4	2	-45	
	Calidad del aire												0	
	Nivel de ruido												0	
	Topografía												0	
	Propiedades físicas												0	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo												0	
	Servicios públicos												0	
Infraestructura vial												0		
Paisaje												0		
Consumo de energía eléctrica	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire												0	
	Nivel de ruido												0	
	Topografía												0	
	Propiedades físicas												0	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo												0	
	Servicios públicos	-1	8	4	1	4	1	1	4	4	4	2	-53	
Infraestructura vial												0		
Paisaje												0		

**Tabla XVIII. Valoración de los impactos ambientales en la etapa operativa. Parte 2.**

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento de las instalaciones operativas.	Calidad del agua superficial	-1	1	2	2	4	4	1	4	4	4	10	-40
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire												0
	Nivel de ruido												0
	Topografía												0
	Propiedades físicas												0
	Flora												0
	Fauna												0
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos	-1	3	4	1	4	1	1	4	4	4	2	-38
Infraestructura vial												0	
Paisaje												0	
Tráfico de vehículos	Calidad del agua superficial												0
	Volumen de agua del acuífero												0
	Calidad del aire	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29
	Nivel de ruido	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29
	Topografía												0
	Propiedades físicas												0
	Flora												0
	Fauna												0
	Generación de empleo												0
	Servicios públicos												0
Infraestructura vial	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29	
Paisaje												0	

**Tabla XIX.** Valoración de los impactos ambientales en la etapa de cierre. Parte 1.

Fuente: elaboración propia.

ETAPA: DE CIERRE														
ACCIÓN	Efecto	S	I	EX	MO	PE	RE	SI	AC	EF	PR	MC	PUNTAJE	
Desmantelamiento de las instalaciones: maquinaria, equipos y amoblamiento.	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire												0	
	Nivel de ruido	-1	2	2	4	2	1	1	1	4	1	1	-25	
	Topografía												0	
	Propiedades físicas												0	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29	
Paisaje												0		
Retiro de insumos, productos terminados y residuos.	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire												0	
	Nivel de ruido	-1	2	2	4	2	1	1	1	4	1	1	-25	
	Topografía												0	
	Propiedades físicas												0	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos	-1	2	4	1	4	1	2	4	4	4	2	-36	
	Infraestructura vial	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29	
Paisaje												0		
Demolición total de la infraestructura.	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire	-1	8	2	8	2	1	1	1	4	1	1	-47	
	Nivel de ruido	-1	12	2	8	2	1	1	1	4	1	1	-59	
	Topografía	-1	8	1	4	2	2	1	1	4	1	2	-43	
	Propiedades físicas	-1	8	1	4	2	2	1	1	4	1	2	-43	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29	
Paisaje												0		

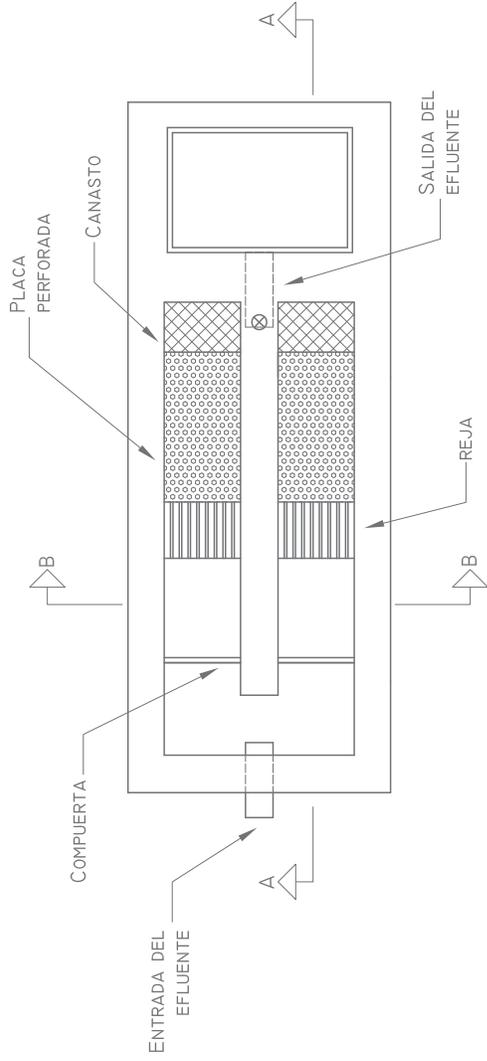
**Tabla XX.** Valoración de los impactos ambientales en la etapa de cierre. Parte 2.

Fuente: elaboración propia.

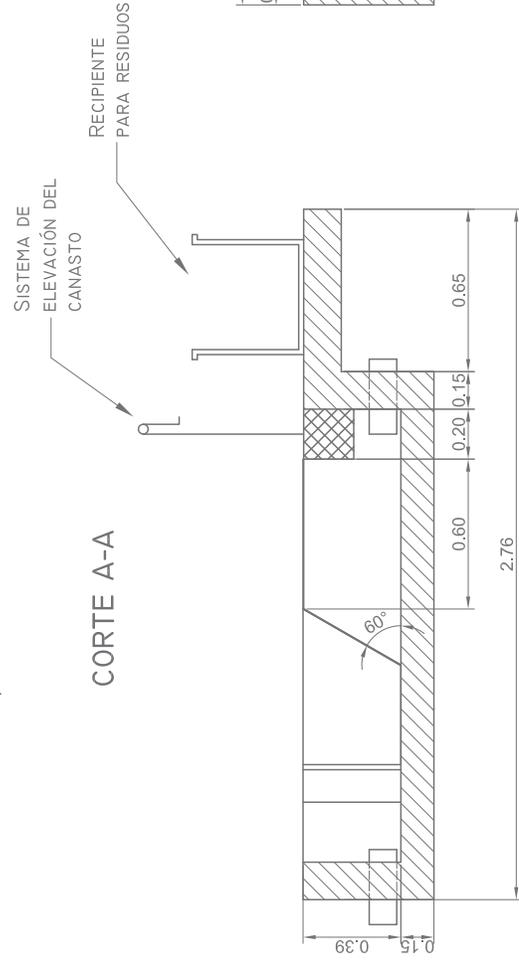
Recomposición del paisaje	Calidad del agua superficial												0	
	Volumen de agua del acuífero												0	
	Calidad del aire	-1	3	2	4	4	1	1	1	4	4	1	-33	
	Nivel de ruido	-1	3	2	4	4	1	1	1	4	4	1	-33	
	Topografía	-1	3	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-33	
	Propiedades físicas	-1	3	1	4	4	2	1	1	4	4	2	-33	
	Flora												0	
	Fauna												0	
	Generación de empleo													0
	Servicios públicos													0
	Infraestructura vial	-1	3	2	4	2	1	1	1	4	2	1	-29	
Paisaje													0	

## **Anexo VI: Planos**

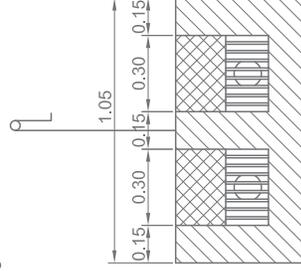
### VISTA SUPERIOR



### CORTE A-A



### CORTE B-B

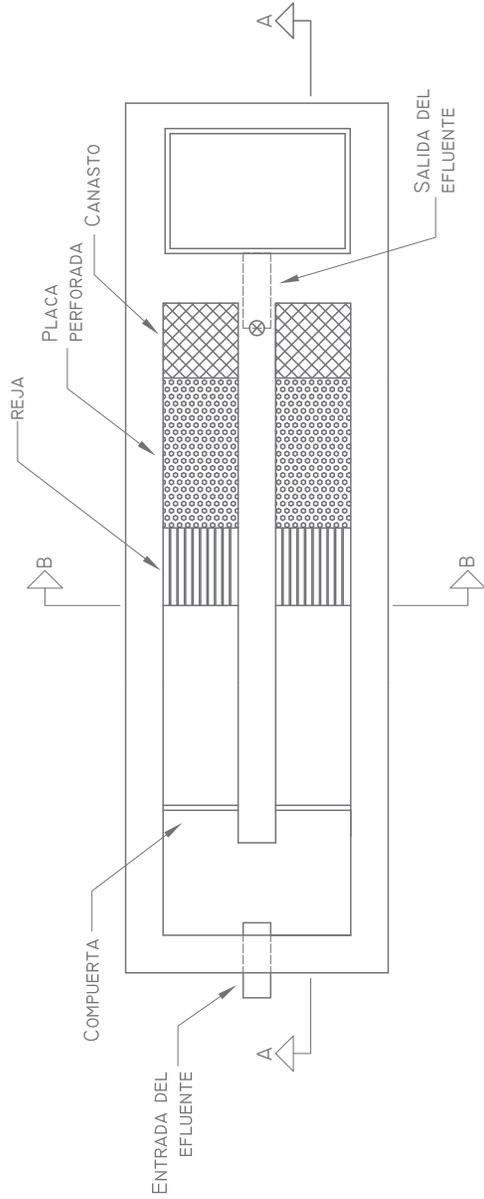


FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBRÓLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:	APROBÓ:	
ESCALA:	1:5	
PLANO N°:	1	

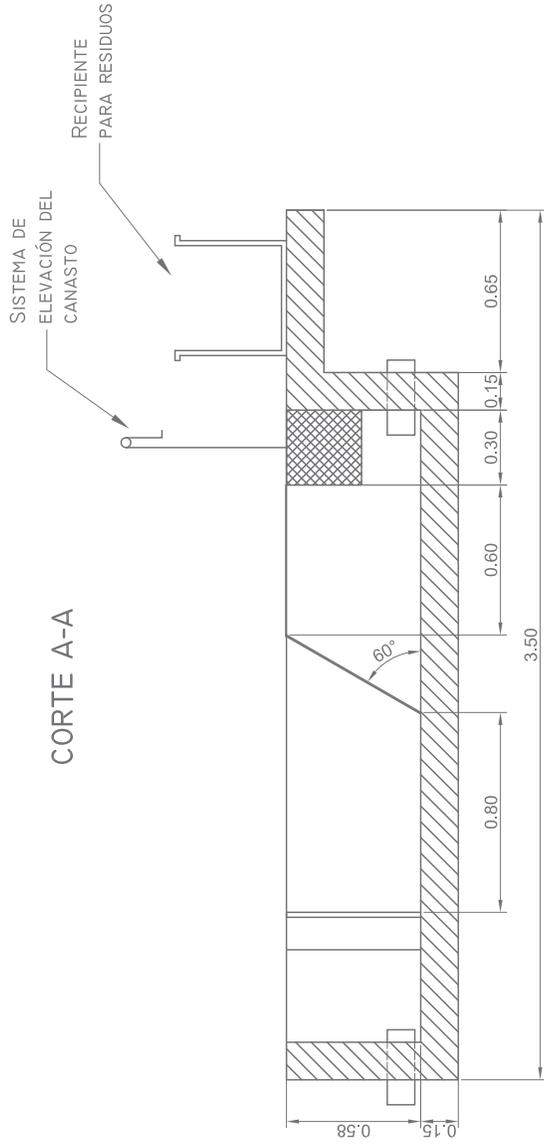
SISTEMA DE REJAS FINAS PARA EL EFLUENTE CLOACAL	
ALUMNO:	ERIKA BEATRIZ RUBIO
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL



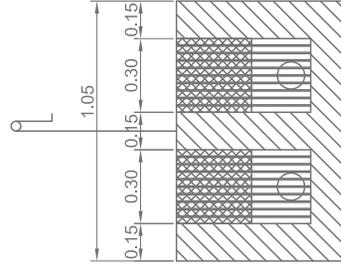
# VISTA SUPERIOR



# CORTE A-A



# CORTE B-B

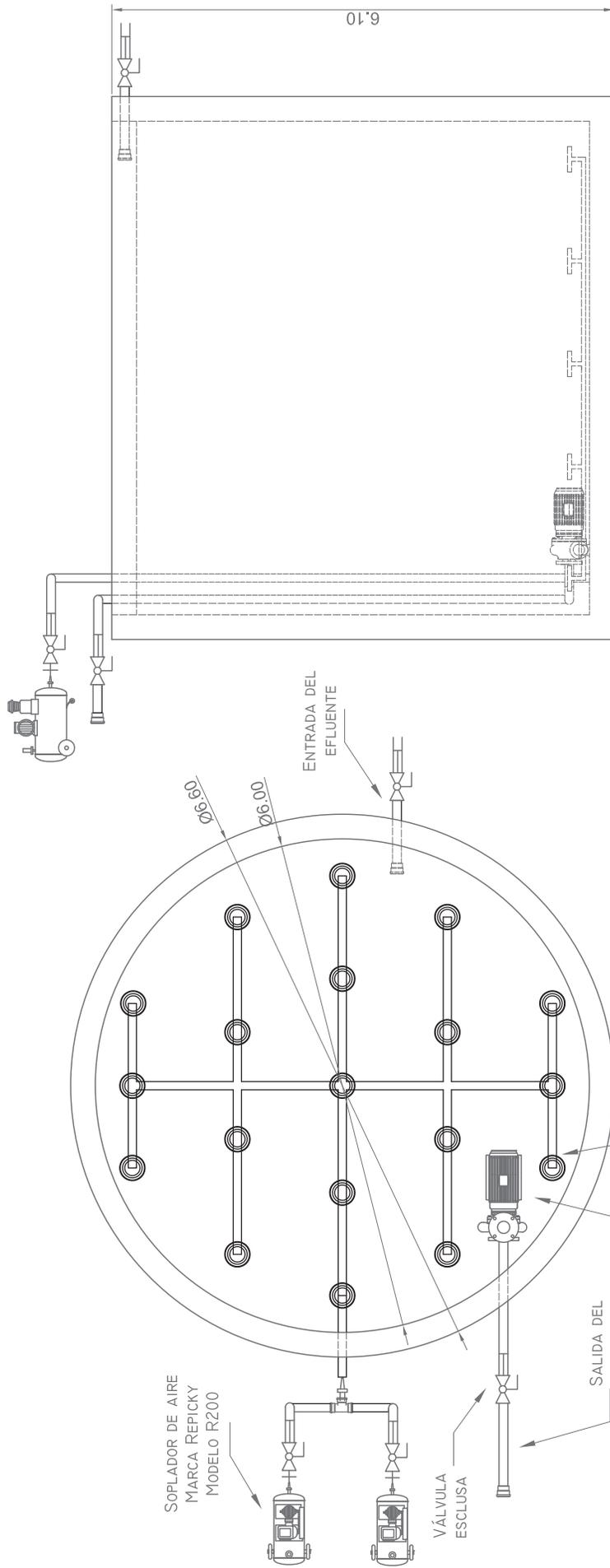


FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBRÓLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		
ESCALA:	1:2	
PLANO N°:	2	SISTEMA DE REJAS MEDIAS PARA EL EFLUENTE INDUSTRIAL
		ALUMNO: ERIKA BEATRIZ RUILO
		CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL



VISTA SUPERIOR

VISTA LATERAL



FECHA: NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBRÓLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
ESCALA:	1:5
PLANO N°:	3
TANQUE DE COMPENSACIÓN	
ALUMNO: ERIKA BEATRIZ RUBIOLO CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL	
 Universidad Nacional de San Martín	

# VISTA SUPERIOR

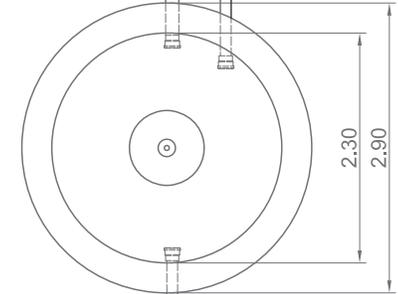
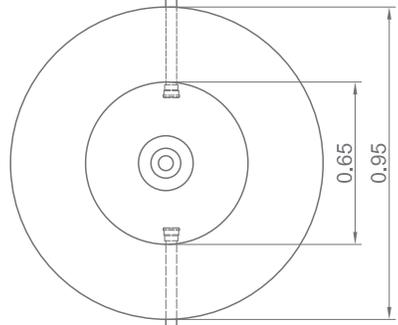
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE COAGULANTE

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE REGULADOR DE PH

ESCALA 1:2

TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE FLOCULANTE

BOMBA DOSIFICADORA

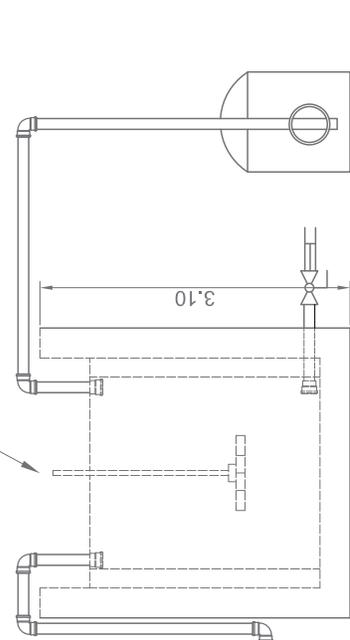
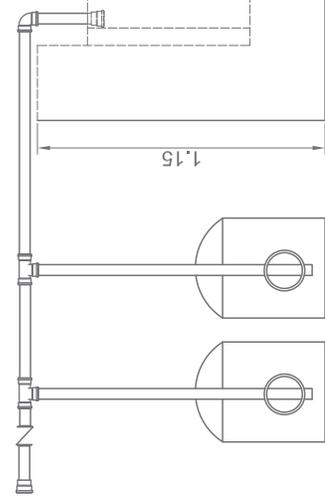


ENTRADA DEL EFLUENTE

SALIDA DEL EFLUENTE

TURBINA DE FLUJO RADIAL DE 6 PALETAS  
CON AGITADOR LIVIANO DE TURBINA  
MARCA: CRISMET

# VISTA LATERAL

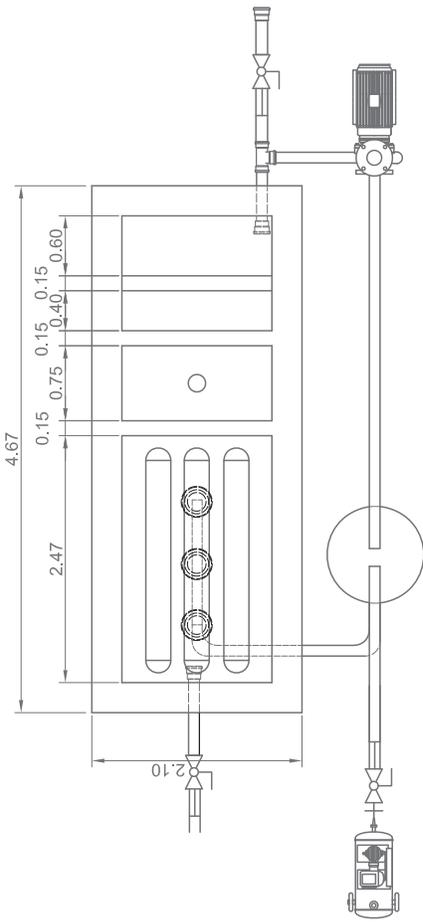


FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBEROLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISO:		
APROBO:		
ESCALA:	VER PLANO	
PLANO N°:	4	
CÁMARA DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN		
ALUMNO:	ERIKA BEATRIZ RUBIOLO	
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL	

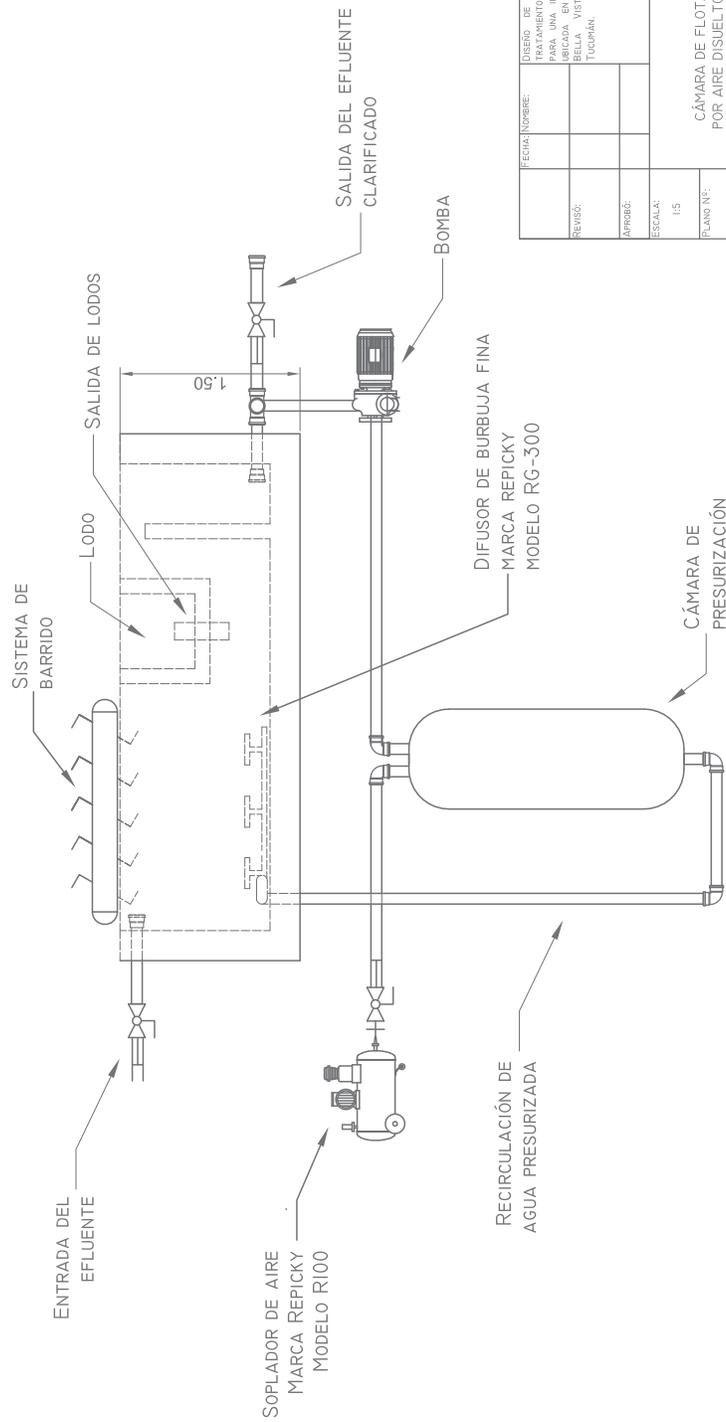


Universidad Nacional de San Martín

### VISTA SUPERIOR

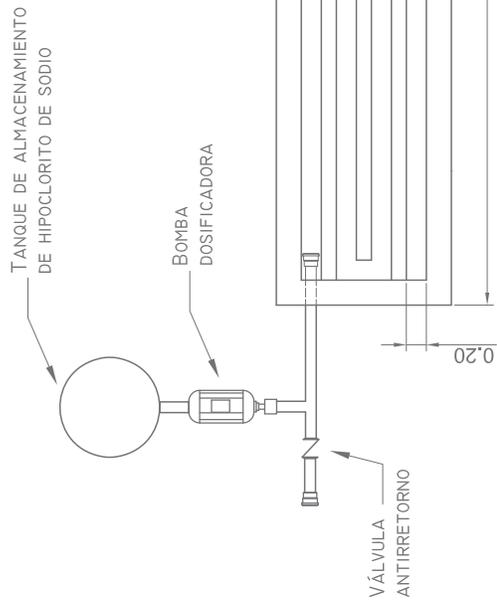


### VISTA LATERAL



FECHA/NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA COTIDIANA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
ESCALA:	1:5
PLANO Nº:	5
ALUMNO:	ERIKA BEATRIZ RUILO
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL
 <b>Universidad Nacional de San Martín</b>	

### VISTA SUPERIOR



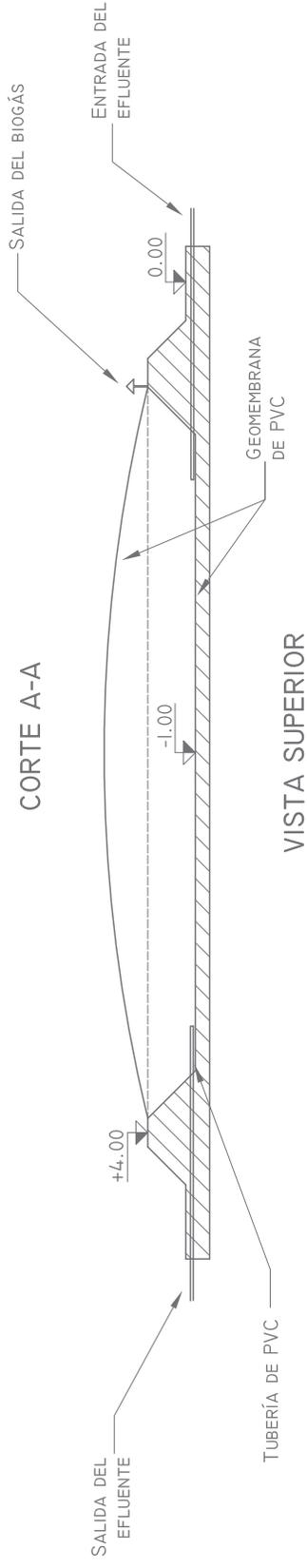
### VISTA LATERAL



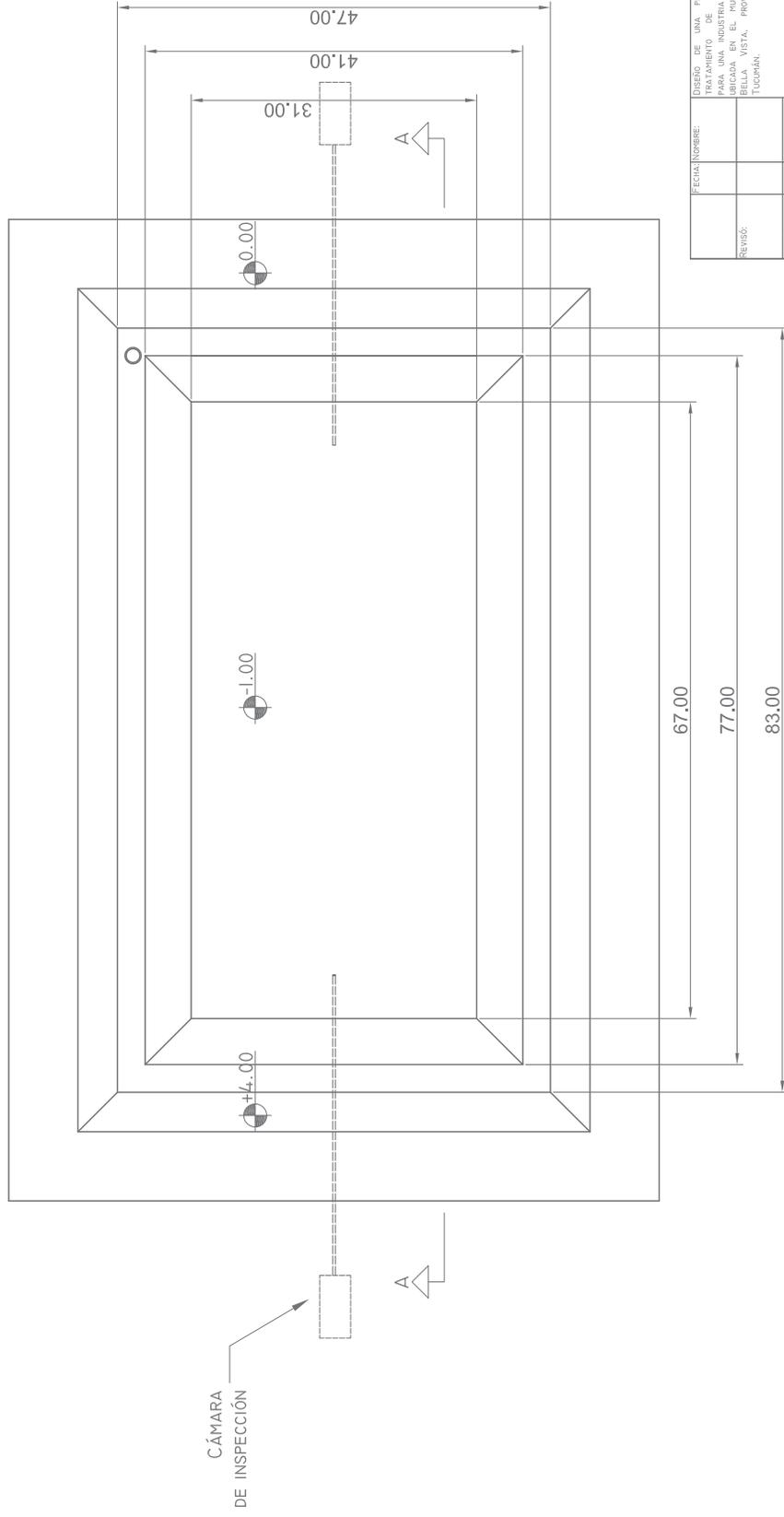
FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA COTIDIANA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		
ESCALA:	1:5	
PLANO N°:	6	

CÁMARA DE DESINFECCIÓN	
ALUMNO:	ERIKA BEATRIZ RUBIOLO
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL

# CORTE A-A



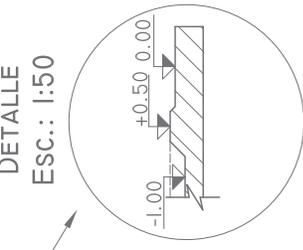
# VISTA SUPERIOR



FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBIFÓLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		
ESCALA:	1:50	
PLANO N°:	7	
LAGUNA ANAEROBIA		
ALUMNO:	EMKA BEATRIZ RIBIÑO	
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL	

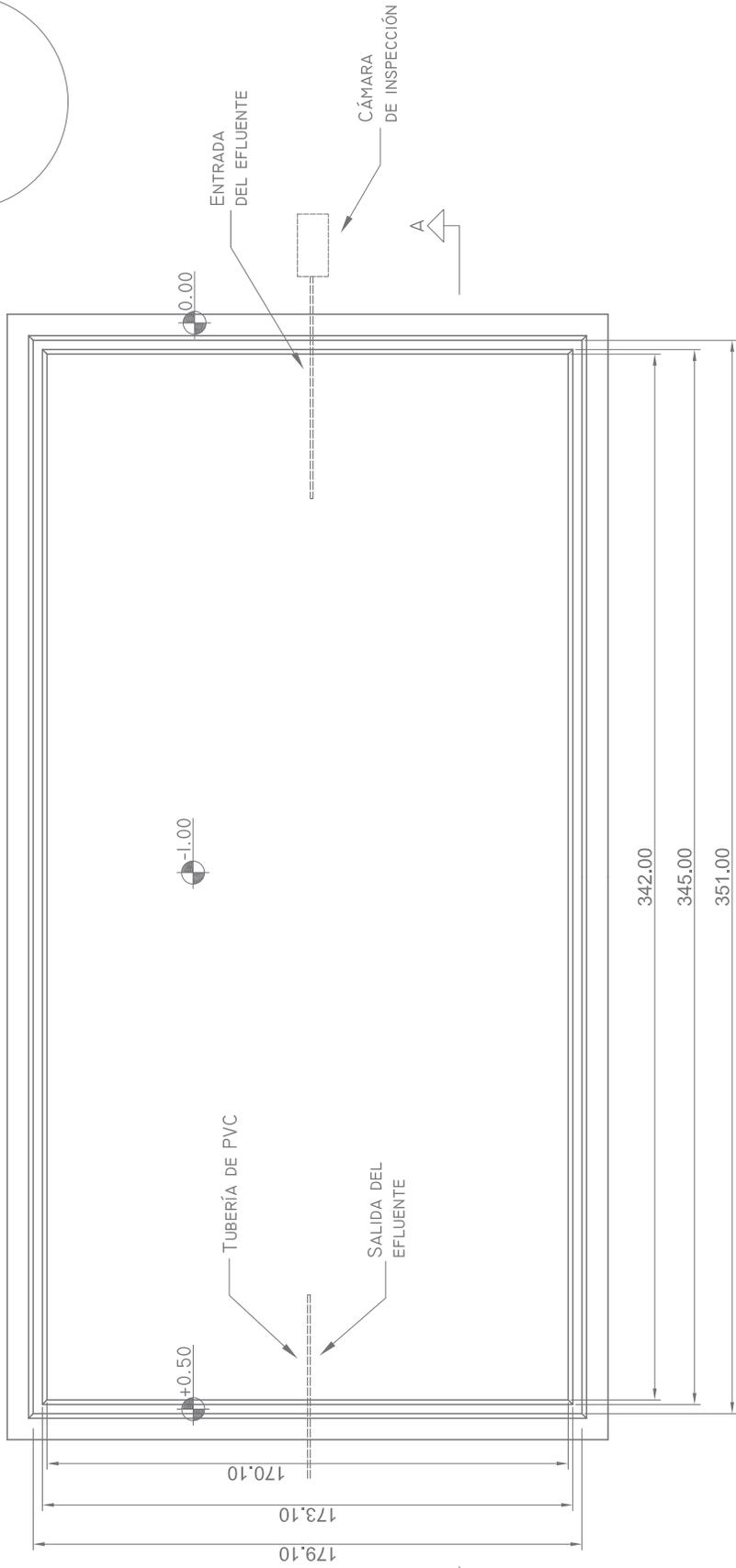


CORTE A-A



GEOMEMBRANA DE PVC

VISTA SUPERIOR

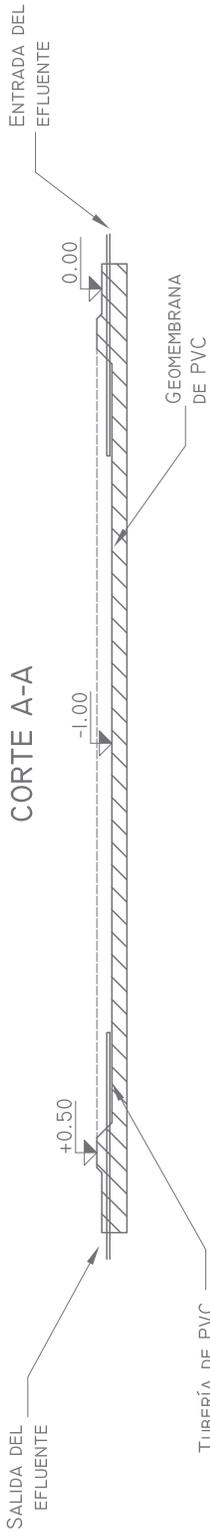


FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CÍTRICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		
ESCALA:	1:150	
PLANO N°:	8	LAGUNA FACULTATIVA N°1
ALUMNO:	ERIKA BEATRIZ RUBIOLO	
CARRERA:	INGENIERÍA AMBIENTAL	

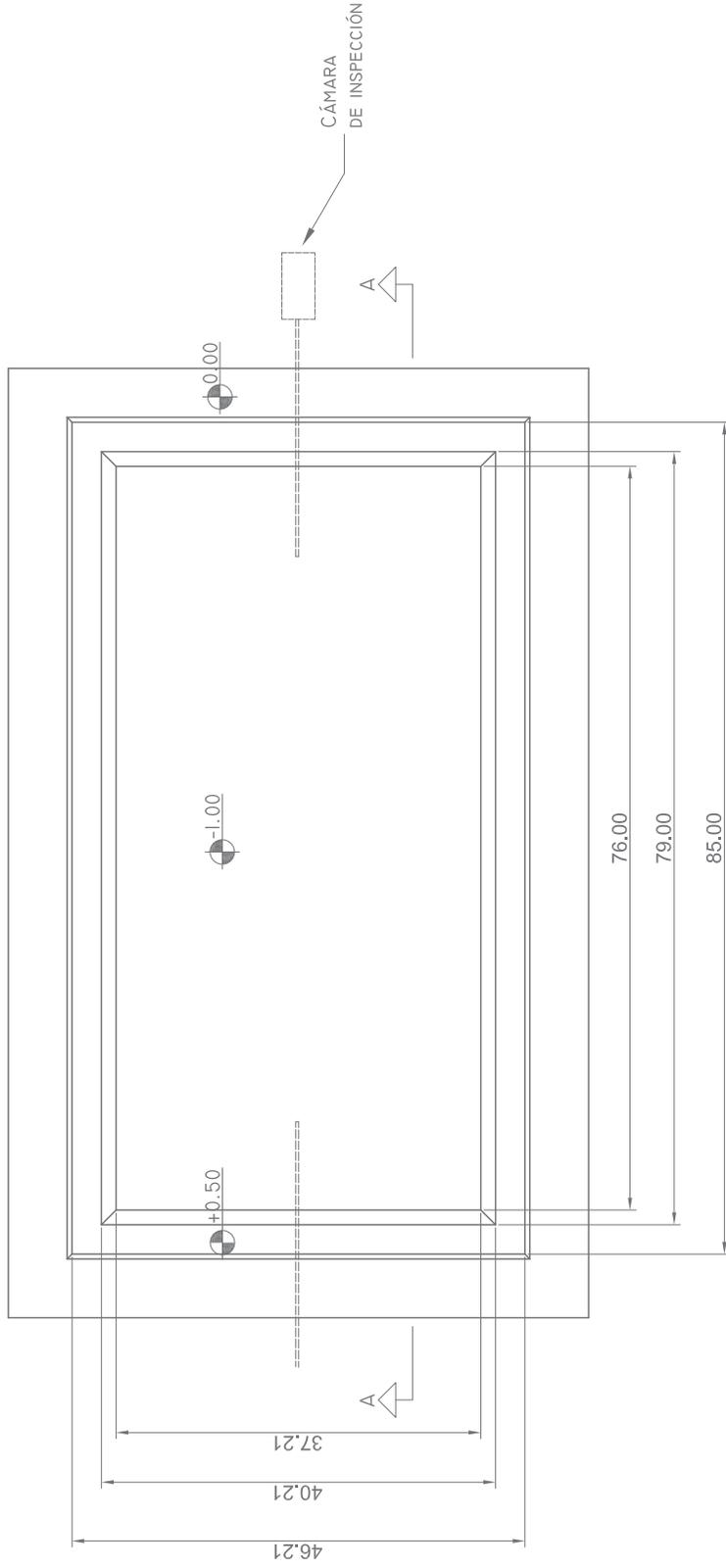


Universidad Nacional de San Martín

CORTE A-A



VISTA SUPERIOR



FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBIFÓLICA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		

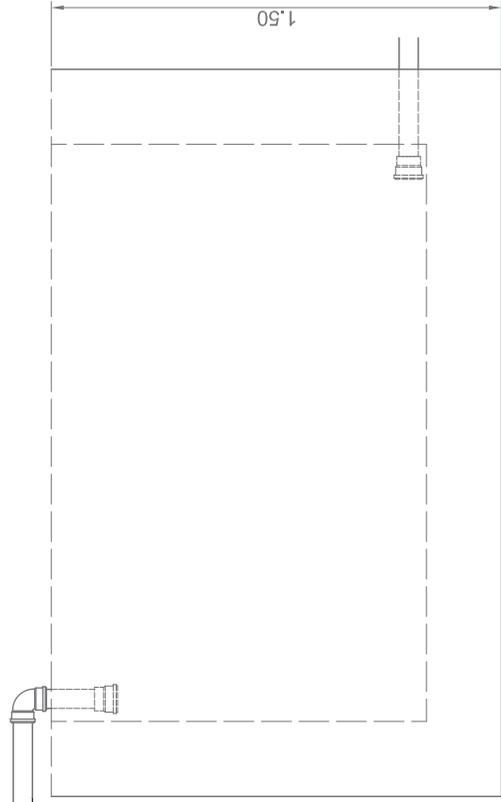
ESCALA:	1:50
PLANO Nº:	9
LAGUNA FACULTATIVA Nº2	



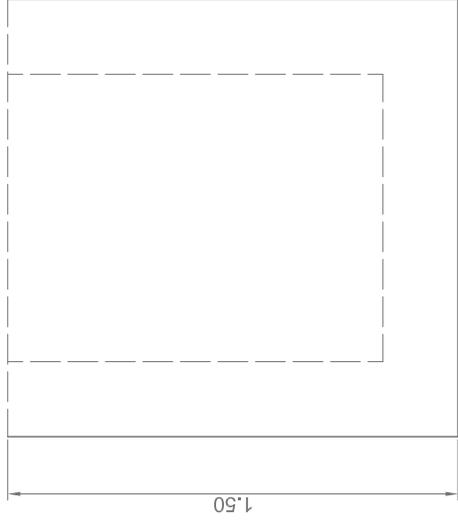
ALUMNO:  
ERIKA BEATRIZ RUBIOLO

CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL

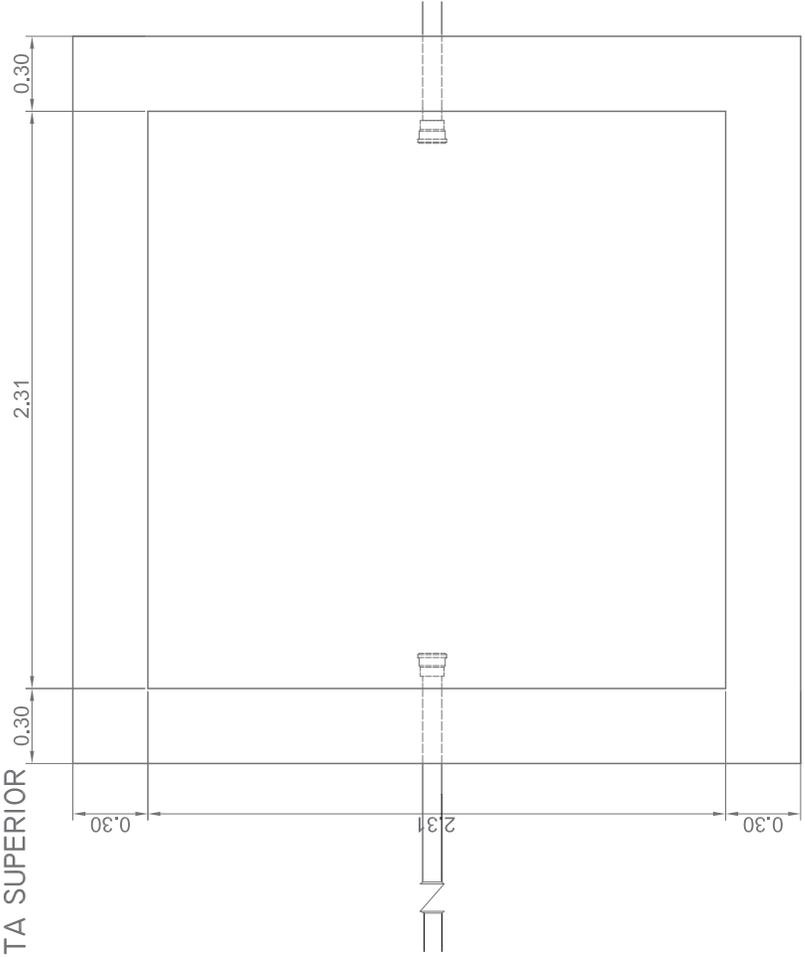
VISTA LATERAL



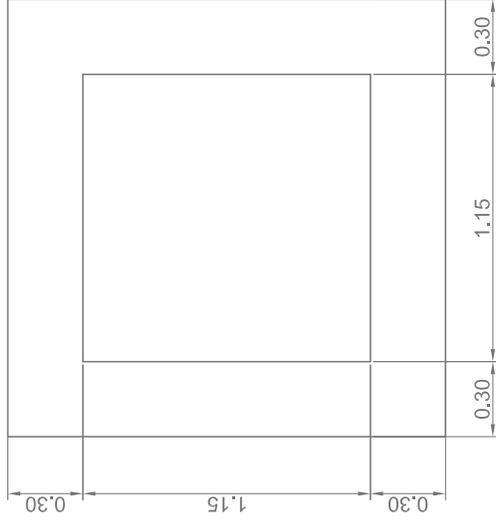
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA SUPERIOR



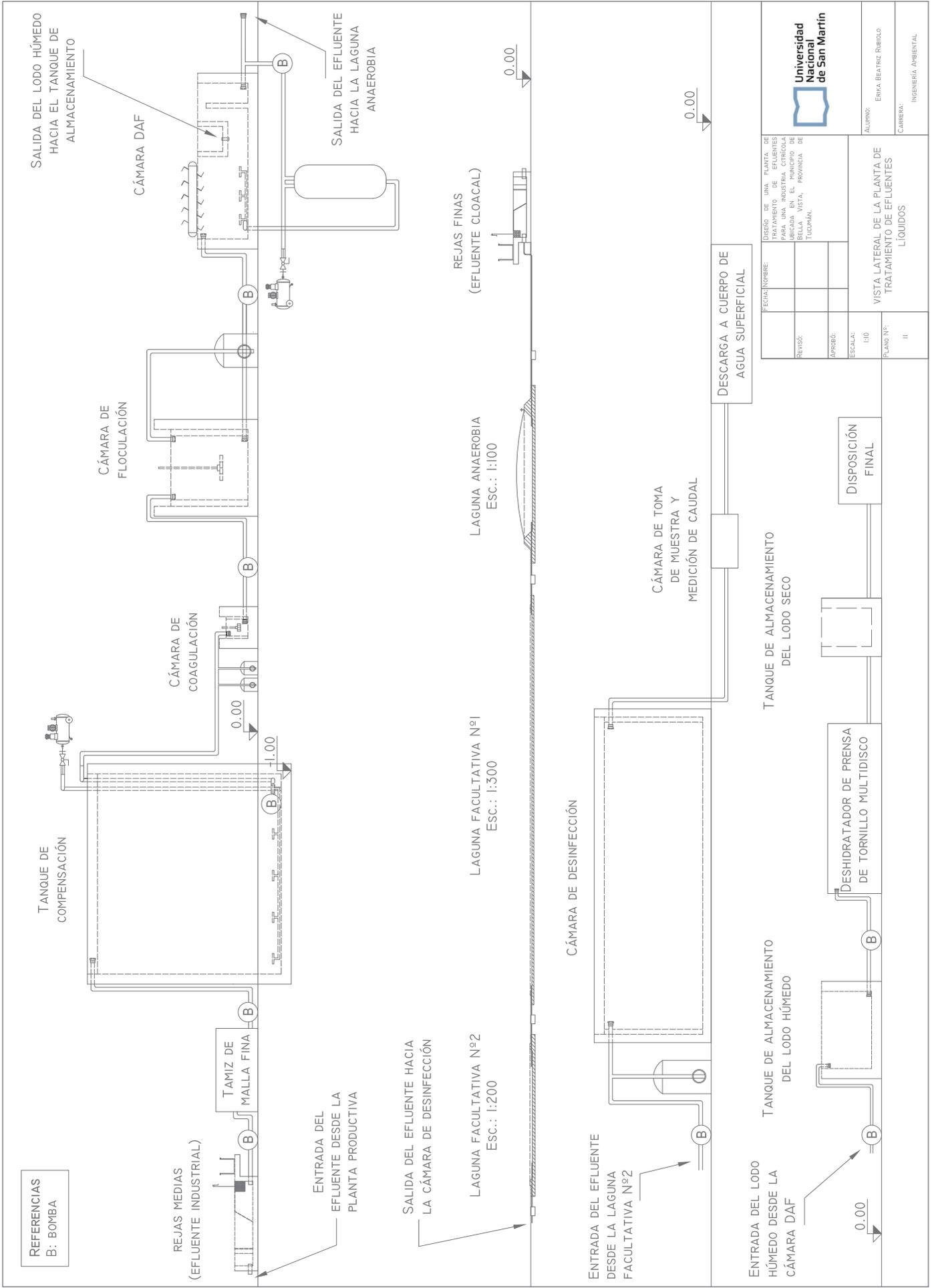
FECHA:	NOMBRE:	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA INDUSTRIA CIBEROLA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BELLA VISTA, PROVINCIA DE TUCUMÁN.
REVISÓ:		
APROBÓ:		
ESCALA:	1:2	
PLANO N°:	10	

TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL LODO HÚMEDO (IZQUIERDA) Y SECO (DERECHA).



ALUMNO:  
ERIKA BEATRIZ RUBIOLO

CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL



REFERENCIAS  
B: BOMBA

SALIDA DEL LODO HÚMEDO  
HACIA EL TANQUE DE  
ALMACENAMIENTO

CÁMARA DE  
FLOCULACIÓN

CÁMARA DAF

CÁMARA DE  
COAGULACIÓN

REJAS MEDIAS  
(EFLENTE INDUSTRIAL)

TAMIZ DE  
MALLA FINA

ENTRADA DEL  
EFLENTE DESDE LA  
PLANTA PRODUCTIVA

SALIDA DEL EFLENTE  
HACIA LA LAGUNA  
ANAEROBIA

SALIDA DEL EFLENTE HACIA  
LA CÁMARA DE DESINFECCIÓN

REJAS FINAS  
(EFLENTE CLOACAL)

LAGUNA FACULTATIVA N°1  
Esc.: 1:300

LAGUNA ANAEROBIA  
Esc.: 1:100

LAGUNA FACULTATIVA N°2  
Esc.: 1:200

CÁMARA DE DESINFECCIÓN

ENTRADA DEL EFLENTE  
DESDE LA LAGUNA  
FACULTATIVA N°2

CÁMARA DE TOMA  
DE MUESTRA Y  
MEDICIÓN DE CAUDAL

DESCARGA A CUERPO DE  
AGUA SUPERFICIAL

ENTRADA DEL LODO  
HÚMEDO DESDE LA  
CÁMARA DAF

TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
DEL LODO SECO

TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
DEL LODO HÚMEDO

DESHIDRATADOR DE PRESA  
DE TORNILLO MULTIDISCO

DISPOSICIÓN  
FINAL

FECHA/NOMBRE:  
REVISÓ:  
APROBÓ:  
ESCALA:  
PLANO N°:



ALUMNO:  
ERIKÁ BEATRIZ RUBIOLO  
CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL

DISEÑO DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE EFLENTE  
PARA UNA INDUSTRIA COTIDIANA  
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
BELLA VISTA, PROVINCIA DE  
TUUMÁN.

VISTA LATERAL DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE EFLENTE  
LÍQUIDOS

