

**Universidad
Nacional
de San Martín**

Escuela de Ciencia y Tecnología

Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental

**PROYECTO FINAL INTEGRADOR DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos”

Alumno: Patricio Luis Geretto

Tutora: Mg. Vera Mignaqui

Tabla de contenido

1	Introducción.....	7
1.1	Situación actual.....	7
1.2	Justificación de la realización proyecto	11
1.3	Objetivo del Proyecto	15
2	Diagnóstico de la empresa.....	16
2.1	Materia prima y productos	16
2.2	Proceso productivo	17
2.2.1	Subproductos.....	21
2.3	Generación de efluentes.....	25
2.4	Características del efluente de planta	27
3	Alternativas de tratamiento.....	30
3.1	Pretratamiento.....	30
3.1.1	Rejas.....	30
3.1.2	Tamices	32
3.1.3	Homogeneización	32
3.2	Tratamiento primario.....	33
3.3	Tratamiento Secundario	34
3.3.1	Alternativa A: Sistema de lagunas de estabilización	35
3.3.2	Alternativa B: Sistema de laguna aireadas	45
3.3.3	Alternativa C: Lodos activos	53
3.4	Tratamiento terciario.....	59
3.4.1	Cámara de cloración	59
3.4.2	Desnitrificación	60
3.5	Elección de alternativa.....	60
4	Memoria de cálculo	64
4.1	Pretratamiento.....	64
4.1.1	Sistema de rejas.....	64
4.1.2	Tamiz.....	67
4.1.3	Sistema de conducción e impulsión	68
4.1.4	Tanque de homogeneización	88

4.2	Tratamiento primario.....	89
4.2.1	Sedimentador	89
4.3	Tratamiento secundario.....	94
4.3.1	Laguna anaeróbica.....	96
4.3.2	Lagunas facultativas	97
4.3.3	Laguna de maduración	99
4.4	Filtros de carbón activado.....	101
4.4.1	Perdida de carga en los filtros de carbón activado	101
4.5	Conclusiones	102
4.6	Tratamiento de lodos.....	105
5	Análisis económico.....	107
5.1	Inversión inicial	107
5.1.1	Preparación del terreno	108
5.1.2	Pretratamiento	108
5.1.3	Tratamiento primario	108
5.1.4	Tratamiento secundario	109
5.1.5	Tratamiento terciario	109
5.1.6	Tratamiento de lodos	109
5.1.7	Honorarios	109
5.1.8	Elementos para la operación y mantenimiento	111
5.2	Operación y mantenimiento.....	111
5.2.1	Consumo eléctrico	113
5.2.2	Insumos.....	114
5.2.3	Salarios.....	115
5.2.4	Contratos externos	115
5.2.5	Administrativos y mantenimiento.....	115
6	Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes	117
6.1	Operación.....	117
6.1.1	Operación básica	117
6.1.2	Indicador de buen funcionamiento.....	118
6.1.3	Personal requerido	118

6.2	Mantenimiento rutinario	119
6.2.1	Rejas y tamices	119
6.2.2	Sistemas de impulsión	120
6.2.3	Tanque equalizador y sedimentador primario	120
6.2.4	Lagunas	120
6.2.5	Filtros de carbón activado	121
6.3	Puesta en marcha	121
6.4	Muestreo.....	122
6.4.1	Pretratamiento y tratamiento primario	125
6.4.2	Lagunas	125
6.5	Problemas operativos y su solución	130
6.5.1	Malos olores	130
6.5.2	Materiales flotantes y espuma	130
6.5.3	Coloraciones anormales	131
6.5.4	Cortocircuitos o anomalías de flujo.....	131
6.5.5	Mosquitos y otros insectos.....	132
6.5.6	Crecimiento de malezas y desarrollo de lemnas.....	132
6.6	Higiene y seguridad.....	134
6.6.1	Medidas higiénicas	134
6.6.2	Elementos de protección personal.....	135
6.6.3	Riesgos	135
7	Estudio de impacto ambiental	138
7.1	Marco legal e Institucional.....	138
7.1.1	Normativa Nacional	138
7.1.2	Normativa Provincial	138
7.1.3	Entes provinciales	139
7.2	Datos del proponente y del responsable profesional.	139
7.3	Proyecto	139
7.3.1	Nuevo emprendimiento o ampliación.....	140
7.3.2	Objetivos socioeconómicos	140
7.3.3	Inversión	140
7.3.4	Instalaciones	140

7.3.5	Etapa de preparación del sitio y construcción	141
7.3.6	Etapa de operación y mantenimiento	142
7.3.7	Etapa de cierre y abandono.....	142
7.4	Línea de base ambiental	143
7.4.1	Área de influencia del proyecto	143
7.4.2	Medio físico	144
7.4.3	Medio Biológico	148
7.4.4	Medio socioeconómico e historia	148
7.5	Identificación y valoración de impactos ambiental	150
7.5.1	Metodología	151
7.5.2	Descripción de los impactos ambientales	154
7.6	Cálculo del Nivel de Complejidad Ambiental.....	156
7.7	Plan de gestión ambiental	157
7.7.1	Plan de Protección Ambiental	158
7.7.2	Plan de Contingencias Ambientales	162
7.7.3	Auditorías Ambientales del Plan de Gestión Ambiental	166
7.7.4	Plan de abandono o retiro.....	168
7.8	Conclusiones Estudio de Impacto Ambiental	169
8	Planos.....	170
9	Conclusiones	171
9.1	Conclusión final.....	171
9.2	Conclusión personal.....	172
10	Bibliografía	173
11	Anexo	178
11.1	Teoría.....	178
11.1.1	Evaluación de impacto ambiental.....	189
11.2	Equipos	198
11.3	Balances económicos	209

Resumen

En el siguiente proyecto se diseña una planta de tratamiento de efluentes de una industria productora de bioetanol a base de maíz como respuesta al pedido de la junta directiva de la firma, siendo menester adecuarse a la normativa de vuelco vigente en la provincia de Córdoba.

CORNOL procesa hasta 1.450 toneladas de maíz por día, y cuenta con una capacidad de producción de 200.000 m³ de etanol y 125.000 toneladas de proteína vegetal para alimento animal al año, generando un efluente con un caudal de 75 m³ por hora.

En el cuerpo del escrito se realiza una introducción al tema energético en relación al bioetanol como combustible alternativo ambientalmente eficiente, un diagnóstico de la empresa y una breve descripción del proceso productivo para contextualizar al lector.

Seguidamente se analizan y dimensionan tres alternativas posibles de tratamiento para escoger una finalmente, que consiste en la implementación de un pretratamiento (sistema de rejillas y tamices y un equalizador), tratamiento primario (un sedimentador), tratamiento secundario (cinco lagunas de estabilización), tratamiento terciario (filtros de carbón activo) y manejo de lodos mediante lechos de secado. Este proceso permite volcar el efluente de planta conforme lo establecido por la normativa aplicable.

También se presenta un análisis económico, determinando inversión inicial y costos de operación y mantenimiento, un manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema para garantizar la correcta operación de la planta, el estudio de impacto ambiental requerido por reglamentación y los planos de obra.

Finalmente se concluye que el emplazamiento del sistema de tratamiento de efluentes líquidos de la planta productora de bioetanol CORNOL se considera ambiental, social, económica y técnicamente viable.

1 Introducción

1.1 Situación actual

A nivel mundial, el carbón representa la fuente de energía más utilizada, seguido del petróleo, el gas natural y los biocombustibles. Las matrices energéticas de los países difieren en gran medida a lo largo del globo. En países poco desarrollados, principalmente ubicados en Asia y África, el 90% del consumo total está representado por biomasa (International Energy Agency, 2017). En cambio, los países industrializados poseen una matriz energética fuertemente ligada a los combustibles fósiles (Anschau, Flores Marco, Carballo, & Hilbert, 2009).

En nuestro país el 53% de la oferta energética primaria proviene del gas natural, seguida del petróleo con un 31% y en tercer lugar se encuentra la categoría denominada resto, según informa la Secretaría de Energía (Figura 1). La oferta interna de energía es el volumen de energía disponible para su transformación o consumo, tiene en cuenta la producción, exportación, pérdidas y volumen no aprovechado (Secretaría de Energía, 2019).

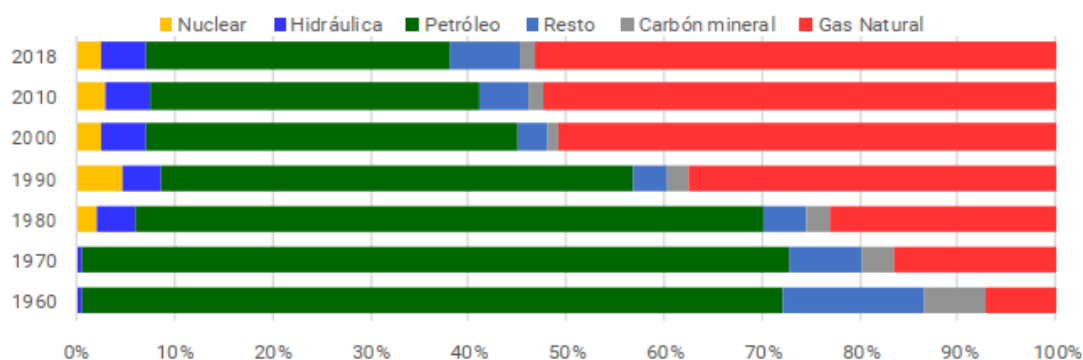


Figura 1. Oferta interna primaria 1960-2018, expresada en porcentaje. Fuente: Secretaría de Energía.

La problemática ambiental actual, tuvo como respuesta inicial para combatir el cambio climático la creación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). El órgano ejecutivo de la CMNUCC es la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés). La República Argentina es país "Parte" de la COP y miembro de la CMNUCC, el Acuerdo de París de 2015 (COP-2015) convoca a las partes firmantes a presentar sus "Contribuciones Determinada a Nivel Nacional" (INDC, por sus siglas en inglés) a modo de respuesta para mitigar el cambio climático. Las INDCs son un compromiso de la comunidad internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acorde con la CMNUCC y no exceder los 2 grados centígrados de temperatura en el planeta respecto a la época preindustrial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2017).

La producción y el consumo de energía representan la mayor parte de las emisiones actuales de gases de efecto invernadero y posibles reducciones. Por lo tanto, el sector energético desempeña una función única y central en el éxito de las estrategias a largo plazo, ya que es la fuente potencial de reducciones de gases de efecto invernadero para otros usos

de energía a través de estrategias de electrificación des-carbonizada. En este sentido, para diversificar la matriz energética nacional se aprobó la ley 27.191 “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica” que establece que para el año 2025 un 20% de la energía consumida provenga de fuentes de energías renovables. El plan RenovAR y el programa Probiomasa, en menor medida, son las principales herramientas a nivel nacional para alcanzar dicho objetivo.

El desarrollo de los biocombustibles se enmarca en el contexto presentado con anterioridad, siendo éste otro esfuerzo por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el año 2006 la ley 26.093 de promoción de biocombustibles y el decreto reglamentario 109/07, establecieron el escenario de los biocombustibles en Argentina regulando la producción y uso de los mismos. Esta ley resulta fundamental ya que introduce los biocombustibles en la matriz energética, teniendo implicancias ambientales, económicas y estratégicas. En la ley mencionada se estableció un corte obligatorio al año 2010 del 5% para las naftas y el gasoil (Anschau, Flores Marco, Carballo, & Hilbert, 2009). La ley 26.334 sancionada en el 2007, se aprueba el régimen de promoción de la producción de biocombustibles, siendo sus objetivos principales el desarrollo de la industria, garantizar el abastecimiento interno y generar un excedente para exportación. Para el gasoil, la cota del corte fue elevada para el año 2010 al 7% (Resolución de la Secretaría de Energía 554/2010), seguido de aumento para ambos biocombustibles al 10% en el 2013. En el año 2016 se realizó una nueva modificación del corte reglamentario de bioetanol en las naftas comerciales, valor que ascendió al 12% (Decreto 543/16, 2016). En un sector tan regulado y promocionado, estos cambios repercuten significativamente tanto en la creación y ampliación de mercados como así también en la viabilidad de producción frente a cambios en los precios de insumos y regulaciones internacionales.

En el territorio nacional se producen dos tipos de biocombustibles, biodiesel y bioetanol, que son mezclados con el gasoil y las naftas respectivamente. En el caso del biodiesel es producido a partir de aceites vegetales, principalmente la soja y el bioetanol a partir de alcoholes vegetales provenientes del maíz o la caña de azúcar, entre otros. Ambos biocombustibles son denominados de primera generación ya que se realizan a partir de materia prima comestible, donde se plantea a nivel mundial la problemática del “*food for oil*”, incrementando el precio de los alimentos al ser utilizados para producir biocombustibles. En los últimos años el origen forrajero del etanol se reparte equitativamente entre la caña de azúcar y el maíz, aun así, el 70% de la capacidad instalada a nivel nacional corresponde a 5 empresas que elaboran bioetanol a partir del cereal.

En términos energéticos ambos biocombustibles han incrementado su participación dentro de la oferta interna primaria, como se observa en la Figura 2, como resultado de la implementación de las distintas leyes mencionadas en el párrafo anterior.

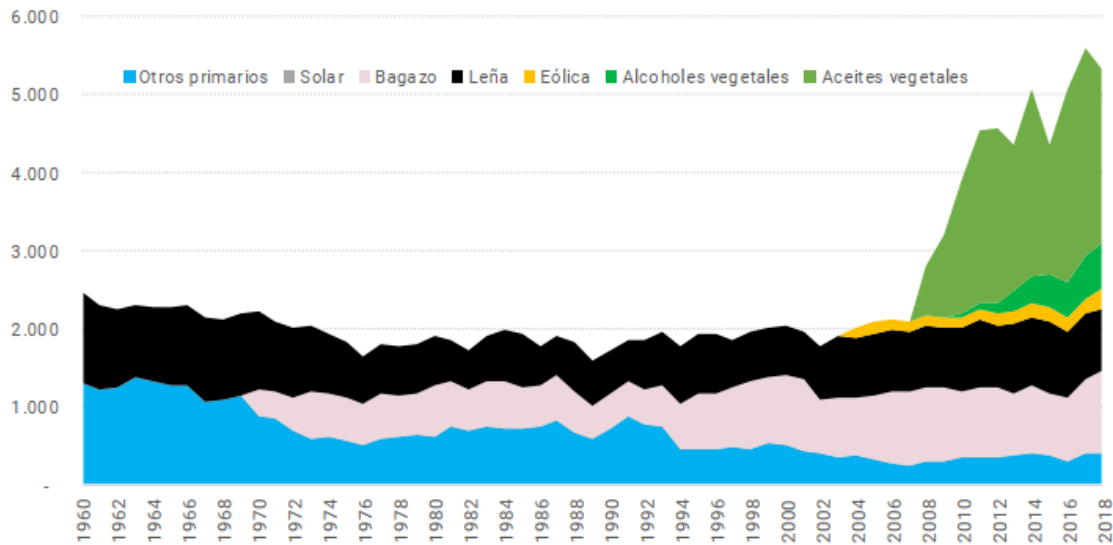


Figura 2. Oferta interna primaria (grupo Resto) 1960-2018, expresado en miles de kTEP(tonelada equivalente de petróleo).
Fuente: Secretaría de Energía

Argentina cuenta con 19 plantas productoras de bioetanol, con una capacidad total instalada de 1.4 billones de litros, siendo 6 las plantas que utilizan grano de maíz como principal insumo (USDA-FAS, 2019). En la Figura 3 se puede apreciar cómo se compone el circuito productivo del bioetanol en el escenario nacional, en el mismo se destaca la importancia del Estado, que asigna cupos de producción a las empresas autorizadas a comercializar el bioetanol en el mercado interno y también regula el precio de venta del mismo (Ariño, Pisani Claro, & Miazzo, 2019). Desde el 2009 el consumo de bioetanol se multiplicó ocho veces para alcanzar un total de 1.08 billones de litros en el 2017, hasta el día de la fecha el consumo no ha variado al alcanzarse el corte obligatorio del 12% (USDA-FAS, 2019).

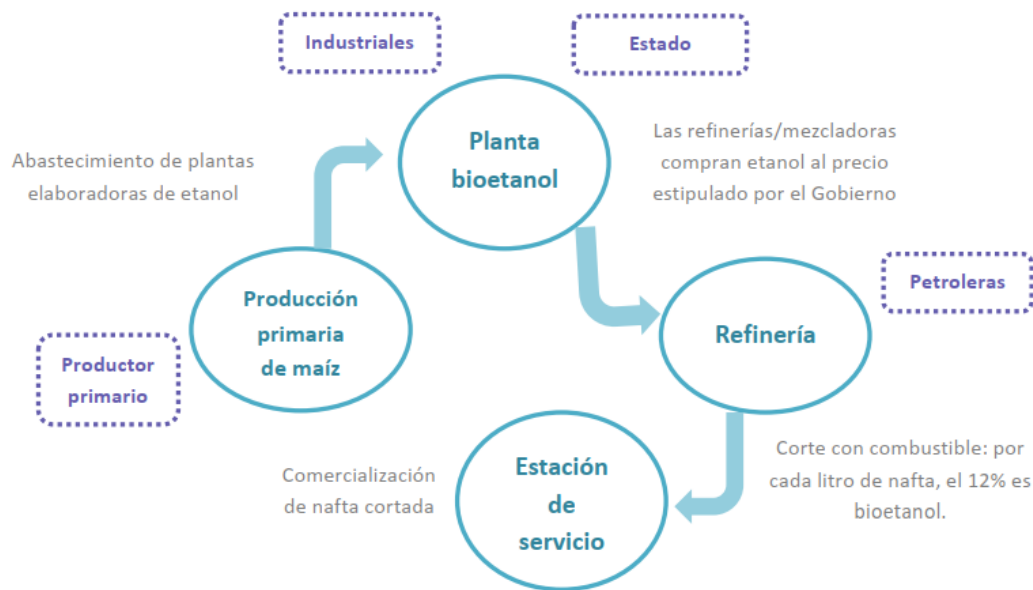


Figura 3. Circuito productivo y actores en el bioetanol a base de maíz. Fuente: FADA

Actualmente los productores de bioetanol exigen un aumento del corte de las naftas entre el 17% y el 27% (como en Brasil y Paraguay), como también una mejora de los precios, teniendo en cuenta que se estima un 20% de capacidad ociosa de las plantas productoras del biocombustible a nivel nacional (Bolsa de Comercio de Rosario, 2019). En el año 2021 el marco regulatorio de los biocombustibles caducará, por lo que existe un gran escepticismo por la situación futura.

En los últimos años, el INTA realizó estudios basados en la huella de carbono de la nafta nacional con un corte del 12% de bioetanol. Los resultados indican que la utilización de bioetanol producido a partir de maíz reduce un 65% las emisiones de gases de efecto invernadero comparado con la nafta sin corte. Esta reducción se debe principalmente a la utilización de cultivos sin labranza (siembra directa) y la necesidad de secar el maíz una vez cosechado, teniendo en cuenta que normalmente se deja secar en el campo. A su vez se buscan generar nuevos híbridos de maíz orientados a la producción de bioetanol con mayores rendimientos (USDA-FAS, 2019).

Como se mencionó con anterioridad, una de las materias primas para la elaboración de bioetanol es el maíz. Este se encuentra entre los principales cultivos a nivel nacional, actualmente Argentina se ubica como quinto productor mundial de este commodity, por detrás de Estados Unidos, China, Brasil y la Unión Europea, y es el tercer país exportador a nivel mundial, siendo éste un mercado alentador para los productores locales (Storti, 2019).

El maíz es un cultivo fundamental para afianzar una agricultura sustentable a través de su participación en la rotación de cultivos, su máximo desarrollo se encuentra en la región pampeana, donde hay grandes extensiones de tierras fértiles y un clima templado. De esta manera la producción de maíz se concentra en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, conformando la zona núcleo, la cual concentra un poco más del 70% de la superficie total sembrada con maíz. La mayoría de los productores de maíz de esta zona integran sistemas de

producción por contratos o en redes. En esta región se obtienen los rendimientos más altos del país puesto que tienen a su disposición la mejor tecnología para la producción del cereal (mejores semillas, fertilizantes, fitosanitarios y maquinaria agrícola) la cual es aplicada por la mayor parte de los productores sin importar cuán pequeña sea su escala de producción.

En los últimos años el mercado de maíz a nivel nacional se diversificó, permitiendo a los distintos productores destinar su producción para ser exportado en forma de grano, para forraje animal, para molienda o como insumo para la elaboración de bioetanol (Ariño, Pisani Claro, & Miazza, 2019). En términos estadísticos, de la producción total de maíz a nivel nacional, solo el 4% es destinada a la elaboración de bioetanol según informó el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGYP) para la campaña 2018/2019.

Córdoba es la principal provincia productora de maíz junto con Santa Fe y Buenos Aires, motivo por el cual las principales plantas de producción de bioetanol se encuentran en la misma zona productora.

La utilización de biocombustibles como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles reduce en gran medida la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), aun así, la producción de los primeros genera impactos ambientales que deben ser mitigados, siendo éste el principal objetivo del trabajo aquí expuesto.

1.2 Justificación de la realización proyecto

En la provincia de Córdoba se encuentra una biorrefinería de etanol llamada CORNOL, con una capacidad de procesamiento de molienda seca de 1.450 toneladas de maíz por día, a su vez, cuenta con una capacidad de producción de 200.000 m³ de etanol y 125.000 toneladas de proteína vegetal para alimento animal al año.

El 88% del total del maíz recibido en forma de grano, que ingresa al establecimiento mediante camiones, se encuentra en una radio de 200 km (Figura 4) alrededor de la planta productora de bioetanol, favoreciendo el desarrollo de los productores locales.

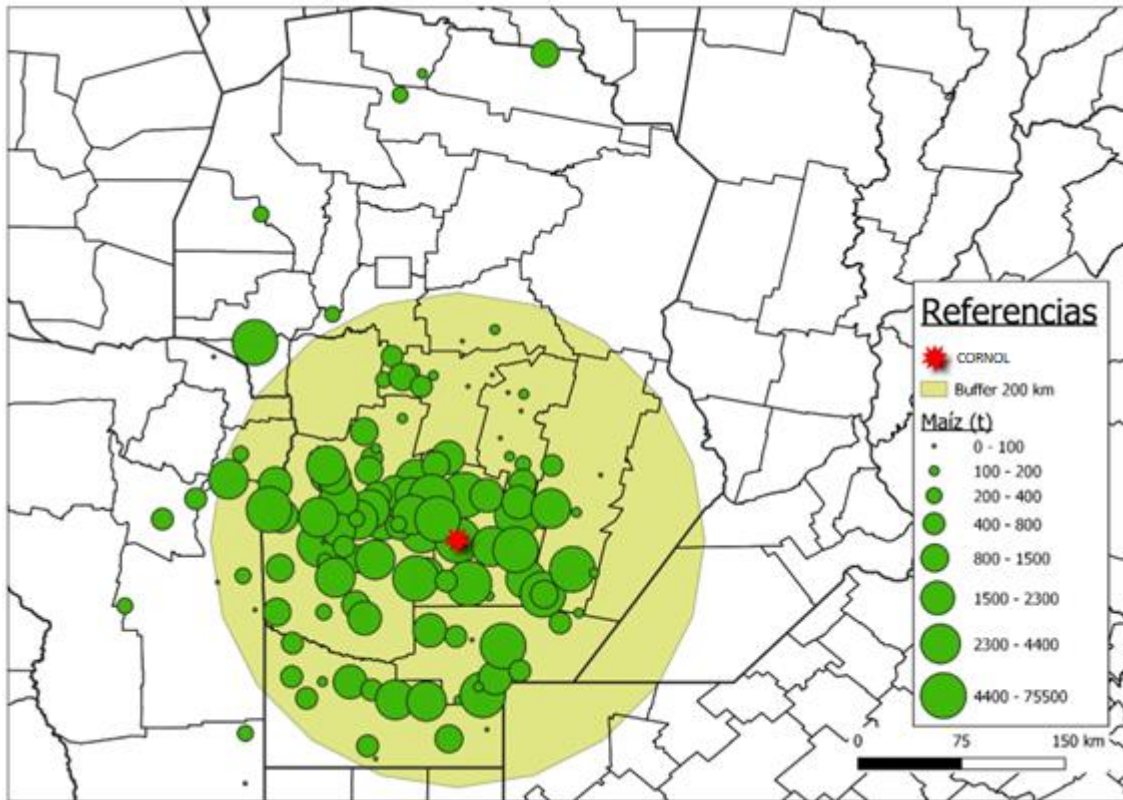


Figura 4. Abastecimiento de maíz de la planta CORNOL para la campaña 2018. Fuente: Elaboración propia

Entre los coproductos que elabora la biorrefinería se encuentra el DDGs (*dried distillers grains with solubles*) y WDGs (*wet distillers grains with solubles*), proteína vegetal en composición seca y húmeda, respectivamente. Éstos funcionan como alimento para ganado bovino productor de leche y carne, como también para ganado porcino, ovino y aves. A su vez se obtiene aceite crudo de maíz no comestible, utilizado para la producción de agroquímicos y biocombustibles. Como producto de la fermentación de los granos de maíz, se libera CO₂ que es envasado y distribuida a industrias alimenticias, ya sea para carbonatar bebidas o como ácido inocuo. Por último, también se produce una pequeña cantidad de alcohol extra neutral (ENA), que se utiliza en bebidas y en la industria cosmética (Figura 5).

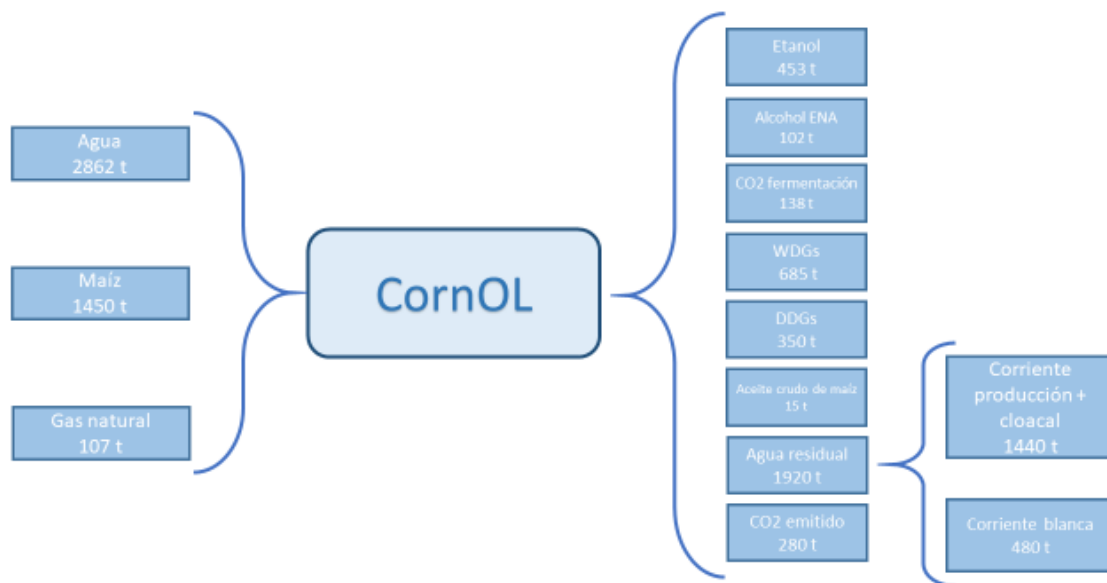


Figura 5. Esquema simplificado de los componentes que ingresan a la planta y los productos generados por día. El dióxido de carbono fermentación es aquel capturado y comercializado, el dióxido de carbono emitido es producto de la combustión del gas natural, se calcula utilizando el FE 1,936 tCO₂/dam³ gas natural. Fuente: Tercera Comunicación Nacional Argentina.

Desde la directiva de la empresa se ha solicitado la construcción de un tren de tratamiento de efluentes para adecuarse a los límites estipulados por el Decreto 847/16 “Reglamentación de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico Provincial”. Actualmente CORNOL le paga a una empresa lindante, que fabrica aceite de maíz, para que trate sus efluentes, debido al vencimiento del contrato acordado, CORNOL decide elaborar una planta de tratamiento propia dentro de su terreno.

El predio de la empresa posee una superficie total de 67 hectáreas (Figura 6) y se encuentra a 4 km del río Cuarto, curso de agua al que se volcarán los efluentes tratados.

Como se mencionó con anterioridad la regulación del volcado de efluentes en la provincia de Córdoba se realiza mediante el decreto 847/16 en cuyo anexo se encuentran los valores que figuran en la Tabla I (Decreto 847/16, 2016).

Tabla I. Parámetros promedio de los efluentes de planta y estándares de calidad para vertido de los efluentes líquidos en cuerpos superficiales, provincia de Córdoba. Decreto 847/16. En rojo aquellos parámetros que no cumplen la normativa.

Parámetros	Efluente	Límite permitido (Decreto 847/16)
<u>Corriente producción + cloacal</u>		
Caudal (m ³ /h)	60	No regulado
Temperatura (°C)	60	≤ 40
pH	8 - 10	6 - 9
DBO (mg O ₂ /l)	1.500	≤30

<i>DQO (mg O₂/l)</i>	5.000	≤250
<i>Conductividad (us/cm)</i>	1.500	No regulado
<i>Sólidos suspendidos (mg/l)</i>	600	≤40
<i>Turbidez (FAU)</i>	40	No regulado
<i>Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)</i>	40 - 60	≤20 - 10
<i>Fósforo total (mg/l)</i>	1 - 1,5	≤0,5
<u>Corriente blanca (purga de ósmosis)</u>		
<i>Caudal (m³/h)</i>	20	No regulado
<i>Temperatura (°C)</i>	25	≤ 40
<i>pH</i>	7,5	6 - 9
<i>DBO (mg O₂/l)</i>	570	≤30
<i>DQO (mg O₂/l)</i>	2.150	≤250
<i>Conductividad (us/cm)</i>	1.990	No regulado
<i>Sodio (mg/l)</i>	1.150	≤250
<i>Sulfatos (mg/l)</i>	159	≤ 500
<i>Arsénico</i>	0,051	≤ 0,5
<i>Nitrato</i>	296	≤10

A raíz del proceso productivo empleado, que se describe posteriormente, se obtienen dos corrientes de efluentes líquidos que serán tratadas. Una es denominada corriente de producción cuyos principales parámetros se encuentran en la Tabla I. La segunda corriente se genera a partir de los sucesivos lavados del equipo de ósmosis inversa que se utiliza para que el agua extraída de las napas alcance los estándares de calidad necesarios para ingresar al proceso productivo del etanol. Actualmente, la corriente que posee un tratamiento es la conformada por los efluentes de producción y cloacal, que son tratadas mediante la planta de la empresa vecina. La corriente blanca no posee tratamiento alguno y es volcada al curso de agua más cercano. Como se puede observar en la Tabla I, no es factible volcar ninguna corriente a un cuerpo de agua, ya que no se alcanzan los valores establecidos por la norma.

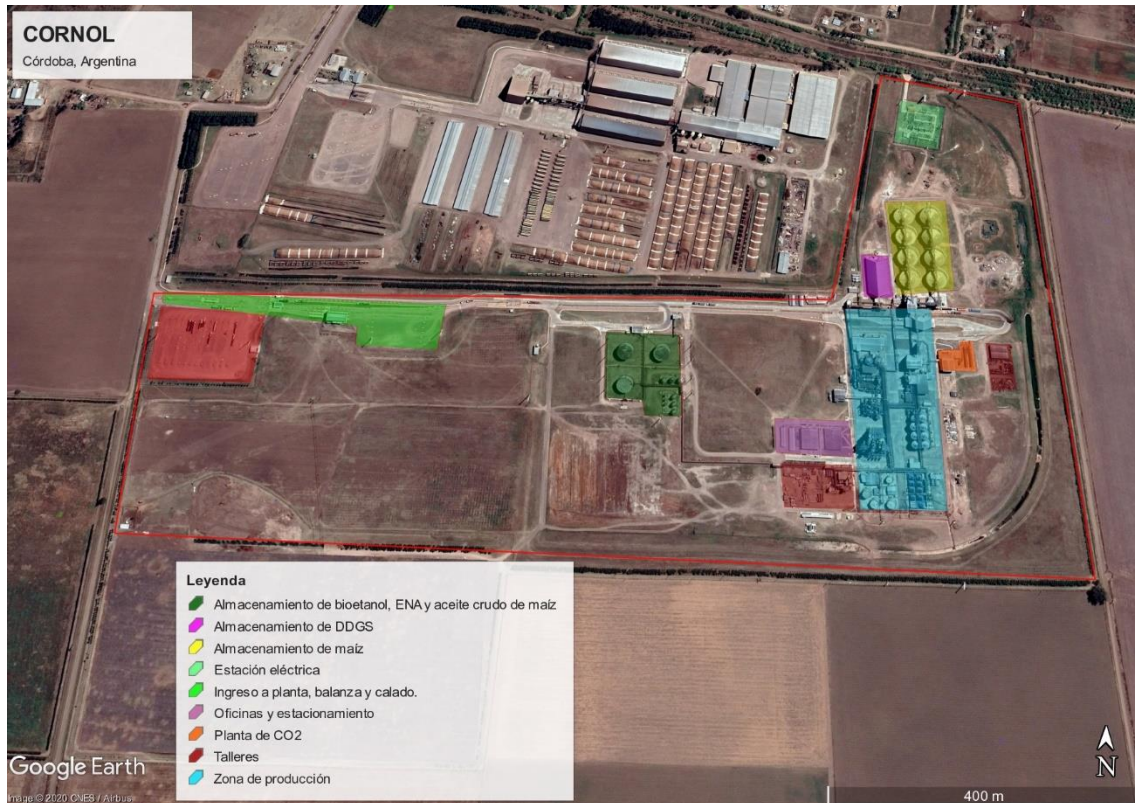


Figura 6. Vista aérea de planta con referencias. Fuente: Google Earth.

1.3 Objetivo del Proyecto

Diseñar una planta de tratamiento para los efluentes líquidos de la empresa conforme lo requerido por la junta directiva e inversores de la firma, para adecuarse a los estándares de calidad de agua permitida para vuelco en cuerpos de agua superficiales en la provincia de Córdoba.

2 Diagnóstico de la empresa

2.1 Materia prima y productos

Para la elaboración del bioetanol existen dos métodos primarios, la molienda seca y la molienda húmeda, estos difieren en la preparación del grano y en su posterior fermentación (Camuyrano, Colombo, Giordanelli, Guzmán Camacho, & Penna, 2017), como también en los productos finales que se obtienen.

El método utilizado en CORNOL es la molienda seca, este método posee ventajas económicas frente a la molienda húmeda. Tanto la inversión inicial como los costos de mantenimiento son menores ya que la tecnología que se utiliza es más sencilla, en contrapartida posee un menor rendimiento.

En CORNOL se utilizan 1.450 toneladas por día de granos de maíz y como fuente de energía se emplea gas natural (145.000 m³/día), en la Tabla II se encuentran los principales productos obtenidos a partir de la elaboración de bioetanol.

Tabla II. Productos obtenidos por día a partir de la molienda seca de 1450 toneladas de maíz. Las magnitudes de DDGS y WDGS pueden oscilar según sea invierno o verano.

Producto	Cantidad
Bioetanol (m ³)	575
DDGS (t)	350
WDGS (t)	685
CO ₂ (t)	138
Aceite crudo de maíz (t)	15
Alcohol extra neutro (m ³)	130

En condiciones ideales la planta debe funcionar continuamente a lo largo de todo el año, ya que en caso de realizarse una parada se debe realizar una limpieza completa de todos los equipos que componen el sistema de producción y una nueva puesta a punto. Es importante tener en consideración que se trabaja con organismos vivos para la fermentación de los granos y que los principales compradores de burlanda (granos de destilería, subproducto de la elaboración de bioetanol) exigen que la misma se encuentre en buenas condiciones, siendo éste un alimento perecedero.

El único sector que consume bioetanol en nuestro país es el del transporte, las petroleras o las empresas que comercializan biocombustible son las que demandan distintos volúmenes del mismo a la Secretaría de Energía que, como se mencionó, es el organismo gubernamental que designa los cupos de producción mensuales para cada planta de biocombustibles en la nación, siendo este el organismo que fija el precio mensual del bioetanol.

En el caso de la burlanda, su inclusión en la dieta alimentaria de distintos animales, permitió valorizar aún más la producción de bioetanol, siendo los tambos y los feedlots los principales compradores (Bragachini, y otros, 2015). En CORNOL el circuito de producción del DDGs se encuentra registrado mediante cámaras ya que gran parte del mismo es exportado.

Por su parte, el alcohol extra neutro se utiliza como insumo en bebidas, productos farmacéuticos, productos de limpieza, cosméticos y pinturas.

2.2 Proceso productivo

El proceso comienza con el ingreso de maíz a planta por medio de camiones, para asegurarse que el maíz se encuentra en condiciones óptimas se realizan sucesivos calados en el chasis y en el acoplado del camión, donde se evalúa el grado de calidad del grano, siendo el de grado 1 el que presenta las mejores características (Tabla III)

Tabla III. Cuadro de tolerancias máximas para cada grado. Fuente: S.A.G. y P. 1075/94

GRADO	P.H. (kg. /hl.)	Granos Dañados %	Granos Quebrados %	Materias Extrañas %
1	75	3,00	2,00	1,00
2	72	5,00	3,00	1,50
3	69	8,00	5,00	2,00

Aquellos granos que exceden las tolerancias del maíz grado 3 o que presentan las siguientes características son clasificados como fuera de estándar.

- Humedad: 14,5%
- Picados: 3%
- Insectos y/o arácnidos vivos: Libre.
- Color: 5%
- Tipo: Los maíces duros y dentados admitirán recíprocamente una tolerancia del 5%
- Chamico (*Datura ferox*): 2 semillas de la maleza cada 100 gramos
- Aquel maíz que presente olores comercialmente objetables, granos amohosados, aquel tratado con productos que alteren su condición natural, o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior, también será considerado fuera de estándar (S.A.G. y P. 1075/94)

Es crucial que los granos de maíz se encuentren en las condiciones adecuadas ya que esto repercutirá en el rendimiento y en la calidad del producto final.

Si la humedad supera el 14.5% los granos son almacenados en un silo húmedo para luego ser secados y almacenados en 8 silos stock con una capacidad total de 80.000 toneladas que

permite operar la planta por 55 días en caso de no tener suministro de maíz, de esta forma se evita parar la planta.

Para ingresar al silo diario (Figura 7), se realiza una pre-limpieza del maíz en la cual se retiran borbas (glumas y glumelas) o pedazos de marlos, a través de un sistema de zarandas, en el mismo proceso mediante una turbina de aspiración se logran eliminar agentes volátiles como polvo y tierra.



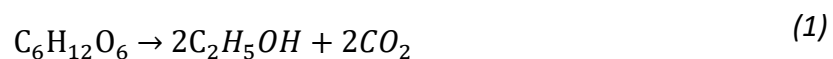
Figura 7. Imagen del silo diario (derecha), celda de almacenamiento de DDGs con una capacidad de 7.000 toneladas (izquierda) y silos de almacenamiento de maíz. Fuente: Google Imágenes.

Mediante un sistema de tornillos sinfín y transportadores de cadena los granos de maíz llegan a la etapa de molienda, para obtener harina de maíz. Por la acción de un molino de martillos se consigue obtener una granulometría óptima para facilitar el proceso de fermentación. Esta reducción en el tamaño permite exponer el almidón, mediante la trituración de los granos de maíz, a su vez se aumenta la superficie que entra en contacto con el agua y las enzimas que se añadirán en las etapas sucesivas. La granulometría óptima se encuentra entre 0.5 mm y 2 mm permitiendo aumentar el rendimiento de obtención de etanol. Para asegurarse que todos los granos de maíz se encuentran en ese rango de tamaño el sistema cuenta con una criba, donde la corriente de rechazo vuelve a ingresar al molino de martillos (Gómez García, 2015). Todo el sistema de molienda cuenta con aspiradoras de polvo para evitar formación de nubes y garantizar la seguridad de los trabajadores.

La harina de maíz ingresa en la etapa de licuefacción, aquí se lleva a cabo la mezcla de agua, alfa-amilasas, el fondo de las columnas de destilación y vinaza decantada que aporta nutrientes para el crecimiento de las levaduras. Teniendo en cuenta la cantidad de harina de maíz introducida en el mezclador, se adiciona 0.02% de alfa-amilasas. Al llenarse el tanque, se comienza a adicionar vapor a la mezcla para lograr una temperatura de 50°C, momento en el cual se agrega la harina de maíz, las enzimas comienzan a gelatinizar la mezcla, favoreciendo el crecimiento de dextrinas y la formación de glucosa, rompiendo los enlaces alfa de los polisacáridos amilosa y amilopectina (Gómez García, 2015). Esta primera fase denominada pre mezcla continúa con el agregado directo de vapor hasta alcanzar 110°C (fase de cocción) y finalmente se deja reposar la mezcla por una hora. A los 90°C se realiza una segunda adición de alfa-amilasas momento en el cual comienza la licuefacción propiamente dicha que transcurre durante 90 minutos. Durante toda la etapa, para favorecer la acción de las enzimas el pH debe oscilar entre los 6 y 6.5 (Jayo & Soza, 2016). Es importante destacar que las altas temperaturas también reducen la presencia de bacterias en el mosto.

Finalizando la licuefacción con un pH entre 6 y 7, comienza la sacarificación, en esta etapa, es necesario agregar ácido sulfúrico y ácido fosfórico, para reducir el pH hasta 4, a su vez se reduce la temperatura hasta los 30°C aproximadamente, permitiendo que las glucoamilasas que se añaden puedan cortar las cadenas de azúcares y formar dextrosas, fácilmente fermentables.

El mosto obtenido ingresa al proceso de fermentación, en CORNOL se emplea una fermentación continua, por lo que hay tanques vacíos, tanque llenándose, tanques fermentando y otros que se están vaciando. En ausencia de oxígeno, con el agregado de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*), una solución de ácido sulfúrico y urea, comienza el proceso de generación de alcohol a partir de la siguiente reacción (1):



De esta forma una molécula de glucosa se convierte en dos de alcohol y dos de dióxido de carbono, por la acción de las levaduras, que actualmente son las más utilizadas por su rendimiento y tolerancia a altas concentraciones de alcohol (Wilkie, Riedesel, & Owens, 2000). Durante todo el proceso se procura mantener una temperatura óptima de 30°C, teniendo en cuenta que la reacción (1) es exotérmica se requiere enfriar permanentemente los tanques, ya que si la temperatura supera los 35°C las levaduras se estresarán. El tiempo de residencia del mosto oscila entre las 50 y 55 horas, obteniéndose un rendimiento aproximado del 11%-12% de alcohol. La asepsia dentro de los tanques de fermentación es fundamental para evitar el desarrollo de *Lactobacillus sp.* que compiten con las levaduras formando ácido láctico y reduciendo la producción de etanol, como también seleccionar cepas de levaduras con una fase lag reducida (Gómez García, 2015).

Al finalizar la fermentación comienza la etapa de destilación (Figura 8), el mosto alcohólico, que posee un 85% de agua y un 15% de alcohol, ingresa en la zona media de las columnas donde se mezcla con el reflujo que baja de la torre. Aprovechando las distintas

temperaturas de ebullición de ambos compuestos, mediante la acción de un intercambiador de vapor que calienta las torres, se evapora la mezcla que comienza a ascender por las columnas, a medida que atraviesa los platos, el agua al ser menos volátil que el alcohol comienza a condensar, aumentando la pureza del etanol que asciende hasta alcanzar una concentración final del 95%. Aun así, no es posible realizar un corte de las naftas con esa pureza, por lo tanto, se debe realizar otro proceso fisicoquímico. El puré de residuo llamado stillage, conformado por todos los sólidos no fermentables del maíz y la levadura, permanecen en la parte inferior de las columnas y serán procesados como coproductos (Vergagni, 2004).



Figura 8. Torres de destilación y equipamiento de anhidración. Fuente: Foto propia.

Existen diversas técnicas para realizar la deshidratación entre las que se encuentran la destilación a vacío, azeotrópica extractiva o mediante tamices moleculares. En CORNOL se utiliza esta última debido a su bajo requerimiento energético y bajos costos de operación. Por consiguiente, para aumentar la pureza del alcohol se lo conduce a través de un tamiz molecular de zeolitas hasta alcanzar 99.8% de pureza, para luego ser almacenado y posteriormente despachado, este proceso denominado deshidratación permite obtener alcohol anhidro. La técnica se basa en la adsorción de las moléculas de agua en los tamices higroscópicos que poseen un diámetro medio de 3 ángstrom, al igual que las moléculas de etanol (Jayo & Soza, 2016).

2.2.1 Subproductos

Mediante la separación y la evaporación (Figura 9) de los sólidos se busca aprovechar aquellos componentes fermentados del grano de maíz (a excepción del almidón que se transformó en etanol), como también las levaduras y sus metabolitos que conforman la llamada vinaza, para generar distintos subproductos y evitar sobrecargar los sistemas de tratamiento de efluentes.

Además del etanol, en la etapa de destilación se genera vinaza total o *whole stillage*, siendo éste el principal efluente a ser tratado, el mismo, sufre un proceso de decantación mediante una centrífuga de tornillos donde se separan los sólidos que conforman la *wet cake* o *WDG (wet destiller grain)* y la vinaza liviana (*thin stillage*).

La vinaza liviana pasa por un proceso de evaporación donde se concentra formando el *syrup*, que luego pasa por un tricanter donde logra extraerse aceite crudo de maíz y vinaza desaceitada, el aceite por su parte es almacenado y comercializado y la vinaza desaceitada ingresará a la secadora junto con el *wet cake* (Cardona, Sánchez, & L, 2009).

La vinaza liviana es reutilizada en parte durante la fermentación (40 %), como ya se mencionó y el resto (60%) es vertida al sistema de tratamiento de efluentes.

El término *wet cake*, hace referencia a los granos destilados que con la adición de la vinaza desaceitada forman los granos destilados solubles (WDGs). En caso de encontrarse en funcionamiento la secadora se obtiene burlanda seca que luego es molida (DDGs) o burlanda húmeda (WDGs) si la secadora está apagada.

Todos los productos e intermedios que se generan durante la separación de sólidos poseen cierto porcentaje de agua y el siguiente porcentaje de sólidos:

- Vinaza total (*whole stillage*): 14% de sólidos
- Vinaza liviana (*thin stillage*): 5% de sólidos
- Vinaza concentrada (*syrup*): 40% de sólidos
- *Wet cake* o *WDG (Wet Destiller Grains)*: 35% de sólidos
- *WDGs (Wet Destiller Grains with solubles)*: 30% de sólidos
- *DDGs (Dried Destiller Grains with solubles)*: 90% de sólidos



Figura 9. Equipamiento de separación y evaporación de sólidos, se puede divisar la secadora a la izquierda alimentada con gas natural. Fuente: Foto propia.

Los dos tipos de burlanda contienen vinaza por lo tanto se incrementan las proteínas y vitaminas contenidas en ambos productos, a su vez se evita desechar la vinaza hacia un sistema de tratamiento de efluentes, lo que evita sobredimensionar el mismo (Vergagni, 2004).

El dióxido de carbono liberado durante la fermentación es refinado y almacenado bajo presión para luego ser comercializado. Inicialmente se lava el gas con agua para recuperar aquellas moléculas de etanol que hubiese podido arrastrar, este proceso se realiza en una columna de lavado, donde el dióxido de carbono obtenido permanece con agua, por lo tanto, es llevado a una planta donde se realiza una compresión, purificación (mediante carbón activado) y secado (por medio de sílica gel), finalmente es licuado y almacenado en dos tanques con una capacidad total de 600 toneladas, como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Tanque de almacenamiento de dióxido de carbono licuado, la planta cuenta con dos tanques con una capacidad total de 600 toneladas. Fuente: Foto propia.

Luego de la etapa de fermentación un porcentaje del mosto alcohólico se destina para la producción de alcohol extra neutro (ENA) que se utiliza en bebidas alcohólicas, perfumes y en medicina.

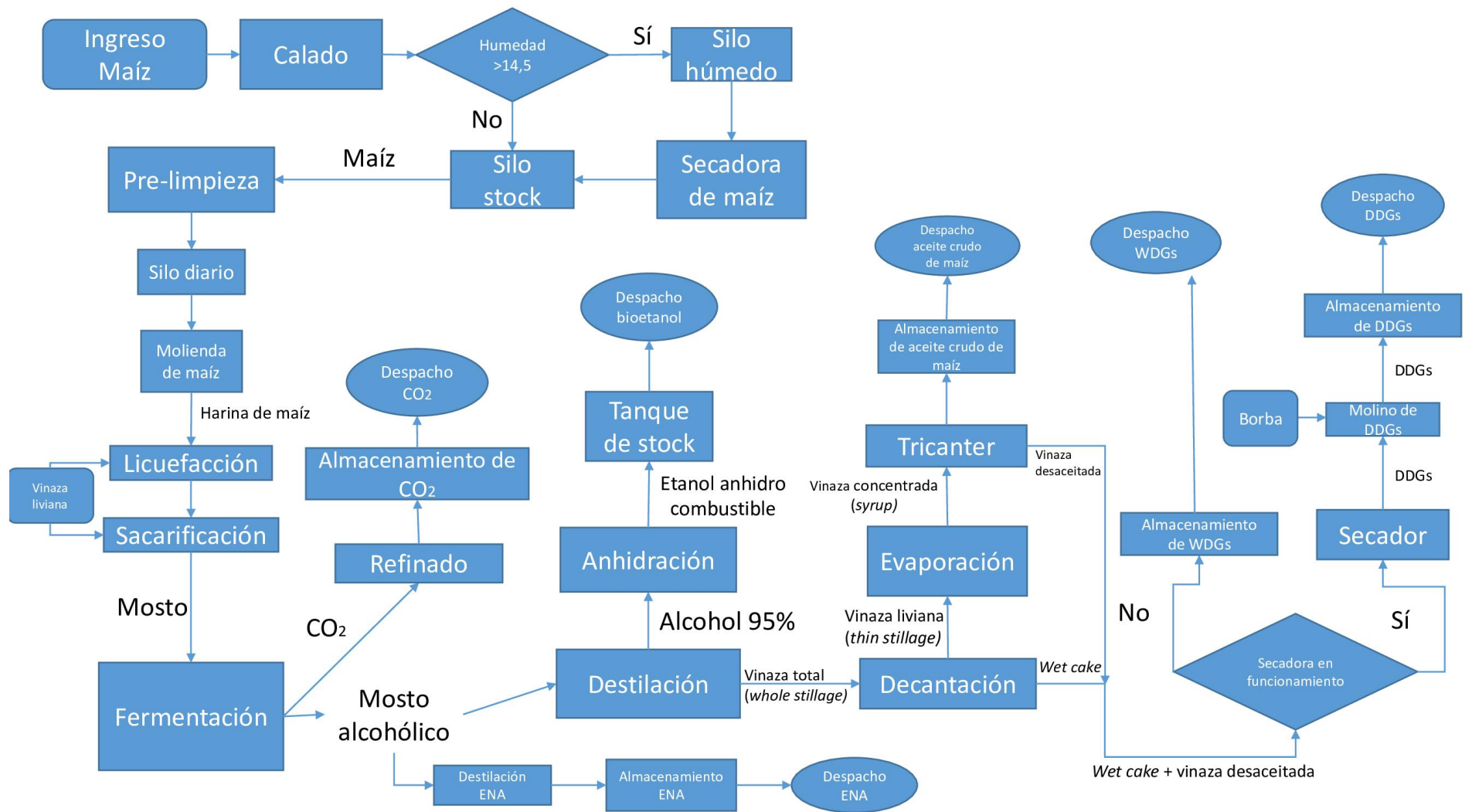


Figura 11. Diagrama del proceso productivo de la generación de bioetanol a partir de maíz.

2.3 Generación de efluentes

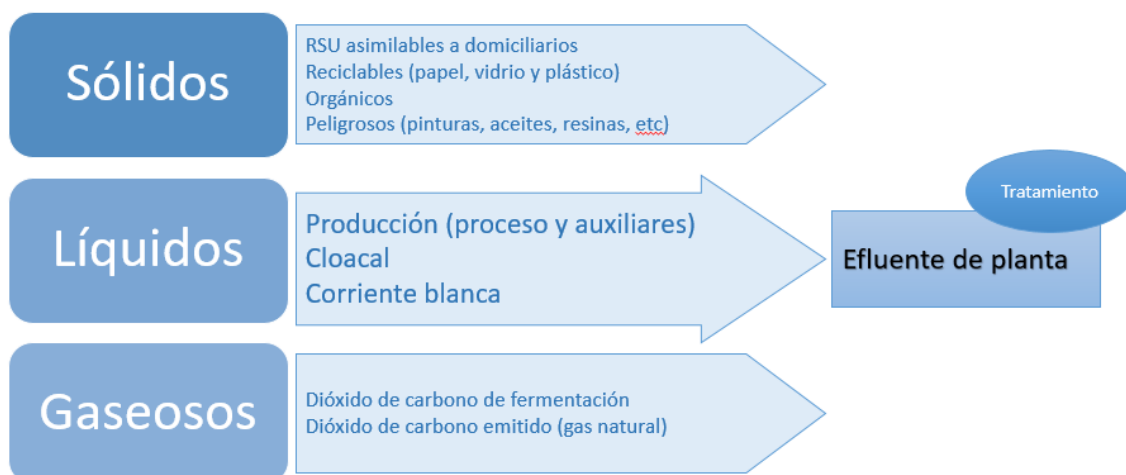


Figura 12. Esquema general de los principales efluentes generados en CORNOL.

2.3.1.1 Efluentes gaseosos

En cuanto a la corriente gaseosa de efluentes generados se destaca la emisión de dióxido de carbono (Figura 12) principalmente durante la etapa de fermentación, como ya se mencionó, este gas es capturado, refinado y comercializado evitando así su emisión directa a la atmósfera.

La utilización de gas natural, para el secado del maíz ingresante con exceso de humedad, para la elaboración del DDGS (mediante la deshidratación del WDGs) y para el calentamiento de calderas y evaporadores, con su consiguiente emisión de CO₂ constituyen la principal emisión en términos gaseosos.

2.3.1.2 Efluentes sólidos

En el caso de la corriente sólida generada durante la etapa de producción de bioetanol, ésta depende fuertemente del material utilizado como materia prima, para el maíz (molienda seca) la mayor parte de los sólidos generados componen la burlanda final, por lo que su emisión es muy reducida y se limita a pequeñas cantidades.

En la planta existe una segregación de los residuos sólidos generados, tanto en la zona de oficina como en el área de producción, éstos se dividen en residuos orgánicos, reciclables, asimilables a domiciliarios y peligrosos.

2.3.1.3 Efluente líquido

El efluente líquido, denominado de producción (Figura 12), está compuesto principalmente por el agua del proceso de producción propiamente dicho siendo la vinaza decantada el mayor porcentaje y efluentes auxiliares que provienen de la limpieza de tanques y cañerías, las purgas de agua de las torres de enfriamiento y las calderas que generan vapor.

El efluente cloacal, que se encuentra caracterizado en conjunto con el de producción en la Tabla I, proviene de la evacuación de los baños y piletas de los vestuarios, como también del comedor.

A su vez, también se genera una corriente, denominada blanca, por su elevada presencia de iones sodio, la misma proviene del lavado de los equipos de ósmosis inversa y la fracción rechazo que esta tecnología genera.

Gran cantidad del agua empleada en la planta es reutilizada, disminuyendo la provisión de la misma y el volumen de efluentes generados. En el caso del agua que debe agregarse a la harina de maíz para formar el mosto, no existe la posibilidad de que sea reutilizada, en cambio el agua empleada para los procesos de enfriamiento puede aprovecharse nuevamente, ya que la misma no entra en contacto con la masa, solo se debe agregar más agua para suplir las pérdidas por evaporación y reducir su temperatura (Vergagni, 2004).

A su vez, se plantea la posibilidad de reutilizar el agua caliente (de rechazo) que sale de los procesos de enfriamiento, para precalentar las calderas que forman vapor que se utiliza para aumentar la temperatura en diversas etapas en la producción de bioetanol. Reduciendo los volúmenes de generación de efluentes se logra un impacto directo en los costos de operación, ya que se disminuye el tratamiento de los residuos líquidos.

El *whole stillage* es el principal efluente líquido que contiene azúcares, carbohidratos y restos de levadura, por lo tanto, es el residuo más importante a la hora de establecer un tratamiento. Esta corriente posee una demanda química de oxígeno (DQO) de 56.000 mg/l y una demanda biológica de oxígeno (DBO) de 37.000 mg/l, por lo que, si esta corriente fuera desechada sin tratamiento alguno al curso de agua más cercano los microorganismos responsables de su degradación requerirían una cantidad de oxígeno que no se encuentra disponible en el agua, provocando rápidamente un agotamiento del mismo. A su vez los nutrientes que posee la vinaza generarían una explosión de algas (eutrofización) impidiendo el paso de la luz a través de la superficie del agua. Por lo tanto, los efluentes de vinaza deben recibir un tratamiento adecuado que garantice su correcta descarga (Cardona, Sánchez, & L, 2009).

En este sentido es fundamental asegurar una correcta fermentación para reducir la presencia de azúcares en la vinaza, por cada 1% de azúcar remanente la DQO puede aumentar hasta 16.000 mg/l, motivo por el cual se deben regular con sumo cuidado los parámetros durante la fermentación. Emplear una fermentación continua permite una alta productividad en la fermentación y un gran rendimiento de etanol, debido a un bajo rendimiento en el desarrollo de las levaduras, pero implica asumir un riesgo de contaminación en la producción (Wilkie, Riedesel, & Owens, 2000).

Debido a su elevada carga orgánica existen diversos métodos de tratamiento de la vinaza, como también para aprovecharla económicamente, entre los que se destacan irrigación, combustión, compostaje, reciclaje y evaporación, en CORNOL se aplican estas dos últimas.

La fracción líquida del stillage es conocida como vinaza liviana que se obtiene luego de la decantación de la vinaza total, por cada litro de etanol pueden generarse 20 litros de vinaza liviana. Para reducir los costos del tratamiento de efluentes se recicla hasta un 40% de la misma, que ingresa en la licuefacción y en la sacarificación, reduciendo la cantidad de agua empleada, regulando el pH y aportando nutrientes para el correcto

desarrollo de las levaduras. Este backset debe ser regulado ya que la vinaza aporta ácido láctico y otros componentes que reducen el crecimiento de la levadura. A su vez la vinaza que no es reutilizada tiene como destino final la burlanda húmeda o seca, reduciendo en gran medida la carga orgánica de los efluentes generados. Si ésta fuera desechada, se debe tener en cuenta que la vinaza liviana posee una DBO entre 30.000 y 60.000 mg/l (Sánchez & Cardona, 2005).

Por lo tanto, las principales fuentes de generación de efluentes en la corriente de producción se identifican en la sacarificación, la fermentación y en la evaporación, debido, principalmente al lavado de tanques y a las aguas de enfriamiento. En las tres etapas permanecen una gran cantidad de sólidos en el fondo de los tanques, en el caso de la sacarificación se encuentran restos de harina de maíz húmeda y por el lado de la fermentación encontramos restos de levadura. En la evaporación de la vinaza liviana que proviene del centrifugado se obtiene como principal efluente agua de vinaza. Una correcta destilación asegura que existe menos del 1% de etanol en la vinaza, la DQO puede acrecentarse en 20.000 mg/l por cada unidad porcentual de etanol remanente (Wilkie, Riedesel, & Owens, 2000).

Teniendo en cuenta las características de los efluentes líquidos se propone establecer una única corriente, que será llamada efluente de planta, para ser tratada mediante las metodologías que se describen en la siguiente sección.

2.4 Características del efluente de planta

Como resultado de la adición de los tres flujos se obtiene un efluente denominado de planta, cuyas características se presentan en la Tabla IV, el efluente generado no cumple con los límites establecidos por la norma en diversos parámetros, motivo por el cual debe realizarse un tratamiento previo para su posterior vertido en el Río Cuarto.

Tabla IV. Efluente generado a partir de la mezcla de las corrientes de producción, cloacal y blanca, comparado con los estándares de calidad para vertido de los efluentes líquidos en cuerpos superficiales, provincia de Córdoba. Decreto 847/16. En rojo aquellos parámetros que no cumplen la normativa. Para aquellos parámetros de los cuales no se tienen datos respecto a alguna corriente se toma el valor original.

Efluente de planta

Parámetros	Valor	Límite permitido (Decreto 847/16)
Caudal (m ³ /h)	75	No regulado
Temperatura (°C)	53	≤ 40
pH	9	6-8
DBO (mg O ₂ /l)	1314	≤30
DQO (mg O ₂ /l)	4430	≤250
Conductividad (us/cm)	1598	No regulado
Sólidos suspendidos (mg/l)	600	≤40
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	50	≤10
Fósforo total (mg/l)	1,25	≤0,5
Sodio (mg/l)	230	≤250
Sulfatos (mg/l)	31,8	≤500

Nitrato (mg/l)	59,2	≤10
Arsénico	0,01	≤ 0,5

Es importante destacar que para obtener los valores hipotéticos de los principales parámetros del efluente se realizó un balance de masa entre las tres corrientes. A su vez, existe un caudal remanente de 5 m³/h de la corriente blanca que no se adiciona a este efluente ya que se excedería el valor estipulado por la normativa para el ion sodio, el mismo será almacenado y entregado a un tratador particular.

Para determinar a priori cuál resulta ser el tratamiento más adecuado para el efluente de producción, se determinó la biodegradabilidad del mismo estableciendo la siguiente relación:

$$\frac{DQO}{DBO} = \text{biodegradabilidad} \quad (2)$$

Aquellos efluentes biodegradables poseen una relación mayor a 2,5 y menor a 5, en el caso analizado el valor es 3,37 por lo tanto, es posible aplicar tratamientos biológicos para reducir la materia orgánica presente, ya que el efluente es moderadamente biodegradable.

A su vez, también se determina la carga orgánica del mismo (3) y la población equivalente (4).

$$\text{Caudal} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) DBO \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \text{Carga orgánica industrial} \quad (3)$$

$$\frac{\text{Carga orgánica industrial}}{\text{Carga orgánica por habitante}} = \text{Población equivalente} \quad (4)$$

En la Tabla V se pueden apreciar los valores de carga orgánica industrial y de la población equivalente que representa el número de habitantes que generarían un efluente con una carga orgánica similar al analizado.

Es preciso contar con los caudales punta y mínimos para aquellas unidades del proceso que se dimensionan según los tiempos de retención o cargas superficiales para garantizar su correcto funcionamiento, teniendo en cuenta que no se poseen series históricas del efluente para poder realizar una estimación del caudal punta, se utilizaron las ecuaciones propuestas por Ángeles (5) y Tchobanoglous (6), en ambos casos se calcula un factor punta o de mayoración como figura a continuación:

$$f = \frac{3.53}{Q_m^{0.0914}} \quad (5)$$

$$f = \frac{3.70}{Q_m^{0.0733}} \quad (6)$$

Donde Q_m es el caudal medio en litros por segundo, de esta forma el caudal punta resulta ser:

$$Q_p = Q_m f \quad (7)$$

Entre los dos resultados obtenidos se realiza un promedio.

Teniendo en cuenta que la planta puede operar moliendo 700 toneladas de maíz como mínimo, se procede a determinar el menor caudal posible de producción generado, estableciendo una relación lineal entre el maíz procesado y caudal de efluente generado.

Tabla V. Valores obtenidos para la carga orgánica industrial, población equivalente, caudal punta y caudal mínimo. El valor de carga orgánica por habitante ha sido extraído de bibliografía.

Parámetros	Valor
<i>Carga orgánica industrial (kg DBO/d)</i>	2.365,2
<i>Carga orgánica por habitante (gDBO/hab. d)</i>	60
<i>Población equivalente (hab)</i>	39.420
<i>Caudal punta (m3/h)</i>	204
<i>Caudal mínimo (m3/h)</i>	44

3 Alternativas de tratamiento

Se proponen tres alternativas de tratamiento para el efluente de planta mencionado considerando las características fisicoquímicas del mismo, los límites establecidos por la norma, la disponibilidad de espacio y el dinero disponible a invertir. Todas las alternativas contarán con un mismo pretratamiento y tratamiento primario.

Entre las tres metodologías a desarrollar se encuentran:

- Alternativa A: Sistema de lagunas de estabilización
- Alternativa B: Sistema de laguna aireadas
- Alternativa C: Lodos activos

El diseño de cada metodología será preliminar y facilitará la elección de la mejor alternativa en términos de eficiencia en la remoción de materia orgánica, potencia a instalar (principales equipos), espacio necesario, producción de fangos y remoción de nitrógeno. La alternativa escogida será desarrollada en su totalidad para efectuar el tratamiento del efluente de planta.

3.1 Pretratamiento

El pretratamiento propuesto tiene como principal objetivo preparar el líquido para que pueda ser tratado correctamente en las etapas posteriores de la planta. Se pretende eliminar sólidos gruesos y finos que podrían entorpecer el funcionamiento de equipos o instalaciones, por obstrucción. A su vez, se pretende nivelar la carga orgánica, el caudal, el pH, la temperatura y la concentración de sodio. A continuación, se encuentra un breve esquema del pretratamiento planteado (Figura 13).



Figura 13. Esquema del pretratamiento sugerido.

3.1.1 Rejas

El pretratamiento del efluente permite la eliminación de aquellos componentes que pueden afectar los procesos subsiguientes en el tratamiento, ya sea por problemas de mantenimiento o funcionamiento, el mismo permite remover elementos u objetos que

dificulten el procedimiento o dañen los sistemas de conducción aguas abajo (Tchobanoglous & Burton, 1995).

El desbaste será la primera operación a realizarse en el pretratamiento, estará conformado por un sistema de rejas y tamices. Las primeras permitirán eliminar aquellos sólidos gruesos existentes en el efluente, las rejas se utilizan para proteger bombas, válvulas y conducciones de daños u obturaciones que pueden originar objetos de gran tamaño. Éstas pueden ser de diferentes tamaños y formas, con distinta separación entre barras, a su vez, pueden ser de limpieza manual o automática (Figura 14).

En el proyecto presentado se propone la instalación de rejas finas con una separación de barrotos entre 10 y 30 mm, las mismas serán de limpieza automática para reducir los problemas de mantenimiento y evitar la presencia de un trabajador exclusivo para la limpieza de las mismas. Se debe prestar especial atención a la velocidad de aproximación del efluente a la reja para garantizar suficiente superficie de acumulación de la basura, a su vez se debe tener en cuenta la pérdida de carga al aumentar la obturación de las barras. Se dispondrá de dos canales uno principal con una reja de limpieza mecánica y un canal by pass en el que se colocarán rejas de limpieza manual en el caso de caudales extraordinarios o mantenimiento de las rejas automáticas.



Figura 14. Rejas de limpieza manual (Izquierda) y automática (derecha). Fuente: Cátedra Procesos Industriales y Google imágenes.

3.1.2 Tamices

Luego de las rejas se dispondrá de un tamiz (Figura 15) para poder retener la materia fina presente en el efluente que estará compuesta principalmente por pequeñas partículas del grano de maíz no fermentadas y restos de levadura, que producirían un atascamiento en los equipos de bombeo. En el caso de la tecnología de los tamices, éstos pueden ser estáticos o rotativos. En este caso el tamiz a instalar será rotativo ya que admite el tratamiento de un mayor caudal respecto a la tecnología estática. Los residuos del desbaste serán debidamente tratados según el material considerado.

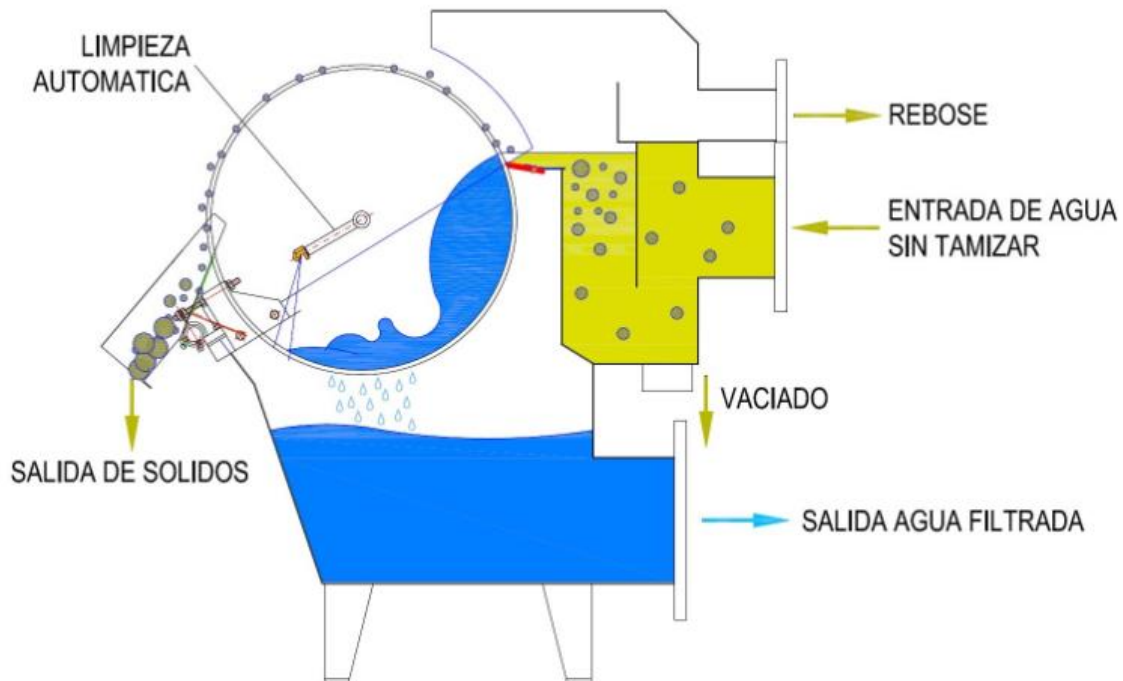


Figura 15. Imagen representativa del funcionamiento de un tamiz rotativo con circulación externa. Fuente: <https://www.toroequipment.com/es/productos/tamiz-rotativo/>

3.1.3 Homogeneización

Luego del desbaste el efluente ingresará en un tanque de homogeneización (Figura 16), esta etapa se realiza porque el líquido puede presentar variaciones en su caudal y en su composición, atenuando factores del efluente como pueden ser el pH, DBO y sólidos en suspensión (Menéndez Gutierrez & Pérez Olmo, 2007), de esta forma se pretende que la corriente de salida del tanque de homogeneización sea lo más uniforme posible. A su vez, se realizará la mezcla de las 3 corrientes dentro del tanque ecualizador para facilitar la mezcla de las mismas.

Para garantizar el correcto funcionamiento del tanque de homogeneización, se debe instalar un sistema de mezclado, que pueden ser mediante aireación superficial o sumergida, a su vez, se evita que las aguas se vuelvan sépticas y liberen mal olor.

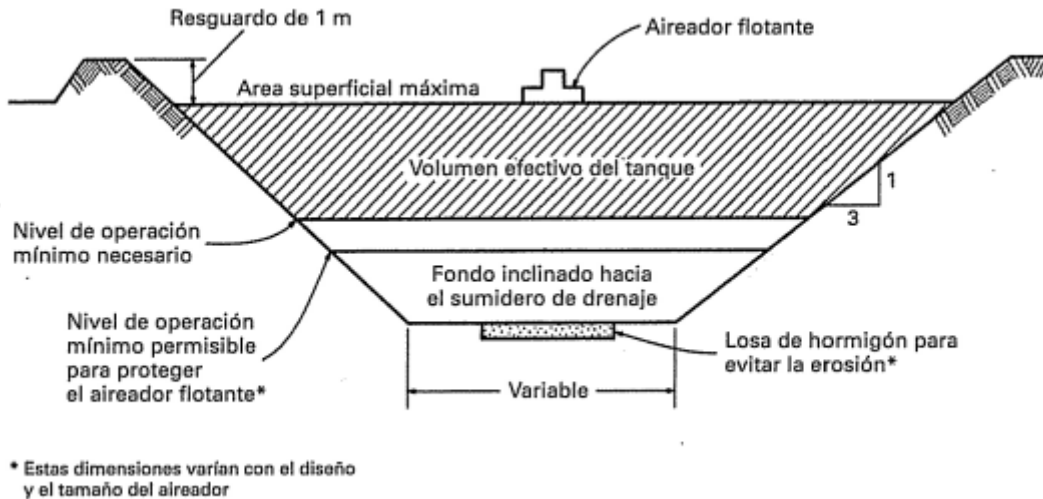


Figura 16. Sección transversal de un tanque de homogeneización con aireación superficial. Fuente: Tchobanoglous & Burton, 1995.

Al contarse con un agua residual con un pH relativamente elevado, que puede afectar a los microorganismos del tratamiento secundario (para las alternativas B y C), se procederá a inyectar dióxido de carbono como agente neutralizante, al ser un ácido débil evita la sobreacidificación que puede ocurrir en el caso de usar ácidos fuertes como clorhídrico y sulfúrico, permitiendo controlar la neutralización del líquido (Anexo: Figura 51). A su vez, al ser menos corrosivo que los ácidos, las instalaciones requieren menos mantenimiento que en el caso de emplear ácidos fuertes. En este caso, será posible emplear el dióxido de carbono liberado durante la fermentación para reducir los gastos operativos.

Se colocará un equipo de la marca Linde, modelo SOLVOCARB®-B (Anexo: Figura 70), que mediante mangueras que se colocan en el fondo del tanque se inyecta dióxido de carbono. No se requieren fuentes externas de energía ya que el dióxido de carbono ingresa por diferencia de presión, la medición en línea del pH permite regular la administración del gas carbónico.

3.2 Tratamiento primario

Para el tratamiento primario se propone la construcción de un sedimentador primario (Figura 17) para separar los sólidos en suspensión presentes en el efluente. La remoción de las partículas en suspensión mediante la sedimentación se debe a la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido (Ramalho, 1993). En el efluente en cuestión encontramos restos de levadura y sus metabolitos que son potencialmente removibles por medio de este fenómeno.

Como segunda función, los sedimentadores primarios reducen también la carga orgánica de los efluentes previo a los tratamientos biológicos. Si los mismos se encuentran correctamente dimensionados permiten una remoción de la DBO entre el 25% y 40%, y una reducción del 60% de los sólidos en suspensión (Tchobanoglous & Burton, 1995).

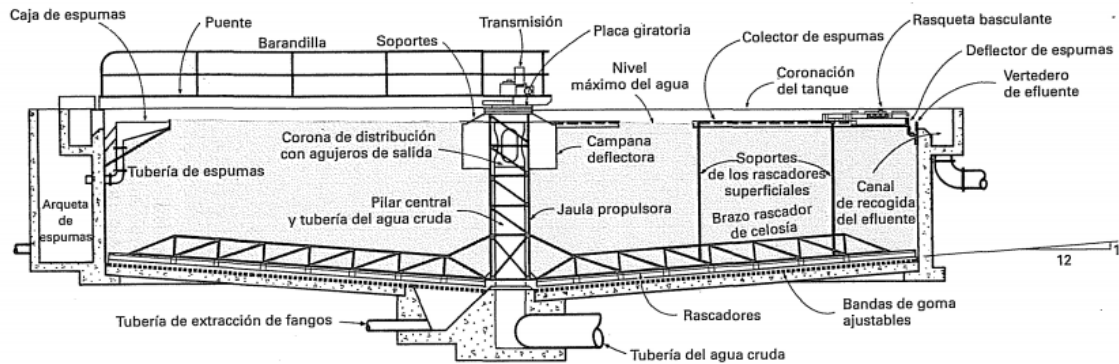


Figura 17. Esquema de un sedimentador primario circular con ingreso central, extracción de fangos y colección de flotantes. Fuente: Tchobanoglous & Burton, 199.5

El principal fenómeno físico que tiene lugar en el sedimentador es denominado sedimentación floculenta, en ésta, la aglomeración de partículas aumenta la densidad de las mismas incrementándose la velocidad de sedimentación. Entre los parámetros de diseño de un sedimentador primario encontramos el tiempo de retención, la carga superficial y la velocidad de arrastre de las partículas.

A raíz de lo propuesto, el pretratamiento y el tratamiento primario se componen de las siguientes estructuras antes de ingresar al tratamiento secundario Figura 18.

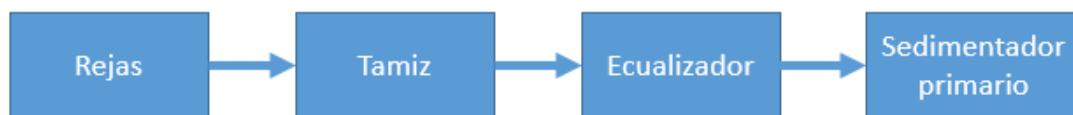


Figura 18. Esquema del pretratamiento y tratamiento primario propuesto.

3.3 Tratamiento Secundario

En las siguientes secciones se plantearán alternativas para el tratamiento secundario del efluente analizado, luego se discutirá teniendo en cuenta los criterios mencionados al comienzo del capítulo para definir cuál será la metodología empleada.

La función del tratamiento biológico es remover los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica soluble, a su vez permite la remoción de nutrientes como fósforo y nitrógeno.

Los coeficientes cinéticos para la realización de los cálculos preliminares que figuran a continuación han sido extraídos de un informe realizado por Gomathinayagam Ganapathi en 1984, que utiliza vinaza liviana como medio líquido.

3.3.1 Alternativa A: Sistema de lagunas de estabilización

Luego de realizarse el tratamiento primario sobre el efluente de producción y cloacal, el mismo ingresaría a un tren de tratamientos compuesto por lagunas que, al estar expuestas al aire y al Sol, se encuentran afectadas en gran medida por las condiciones climáticas del lugar en el que son emplazadas. También es importante destacar que se cuenta con un efluente biodegradable por lo cual este tratamiento es pertinente.

Éstas no requieren grandes costos de mantenimiento, ya que no se requiere la inyección de oxígeno porque el mismo difunde desde la superficie, ni tampoco elementos para favorecer la mezcla. A su vez, el movimiento del agua se obtiene mediante gravedad, procurando antes realizar una correcta relevación topográfica del terreno y establecer un drenaje en consecuencia. Al ser grandes cuerpos de agua, las lagunas cuentan con un efecto de dilución. En contraposición requieren grandes superficies de terreno disponible, por los volúmenes que poseen, y los elevados tiempos de retención.

Las lagunas serán impermeabilizadas mediante la colocación de arena y arcilla con el fin de evitar que el efluente acceda al suelo, a su vez contarán con freatómetros para asegurarse de que no existen pasivos ambientales ni problemas de filtración a través de las mismas.

Entre cada espejo de agua se colocarán cámaras de inspección para realizar un correcto mantenimiento del sistema de distribución en el ingreso de las lagunas y los sistemas de colección al egreso de las mismas.

A continuación, se planteará un tren de lagunas en el que se irá reduciendo paulatinamente la carga orgánica conforme el efluente vaya circulando por los distintos estanques.

Además de reducir la carga orgánica del efluente, se desea reducir el contenido de nitrógeno del efluente de planta. Dentro de las lagunas los principales procesos de transformación son los siguientes:

- Hidrólisis biológica de nitrógeno orgánica con la consiguiente eliminación de amonio.
- Asimilación de nitrógeno por parte de las bacterias para crecimiento celular.
- Nitrificación de amonio y transformación del nitrito al nitrato.
- Desnitrificación de nitrato y liberación de nitrógeno gas.

Para destacar, la nitrificación es un proceso aerobio, por lo tanto, no ocurrirá en las lagunas anaeróbicas, a diferencia de la desnitrificación que al ser un proceso que requiere condiciones anóxicas sólo se dará en el fondo de las lagunas facultativas y en los estanques anaeróbicos. Otra forma de remover nitrógeno es la volatilización del amonio, pero es considerada como un proceso de eliminación y no de transformación (Santos & Oliveira, 1987).

3.3.1.1 Laguna anaerobia

Las lagunas anaerobias se caracterizan por tener altas cargas orgánicas, como su nombre lo indica la mayor parte de su volumen posee condiciones anóxicas, a excepción de la superficie. Su construcción está asociada a reducir la carga orgánica sedimentable ya que actúan como grandes sedimentadores por lo tanto se colocan al inicio del tren de lagunas por su capacidad de soportar altas cargas orgánicas, como también para reducir las dimensiones de las lagunas subsiguientes, que no son tan profundas.

Las mismas, pueden presentar un color oscuro o rosado, con presencia de burbujas debido al ascenso de metano y ácido sulfhídrico, como producto de la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno (Figura 19). El sulfhídrico tiene un olor penetrante por lo cual se recomienda que estas lagunas se encuentren a más de 200 metros de centros poblados para evitar que los malos olores lleguen a las urbes.

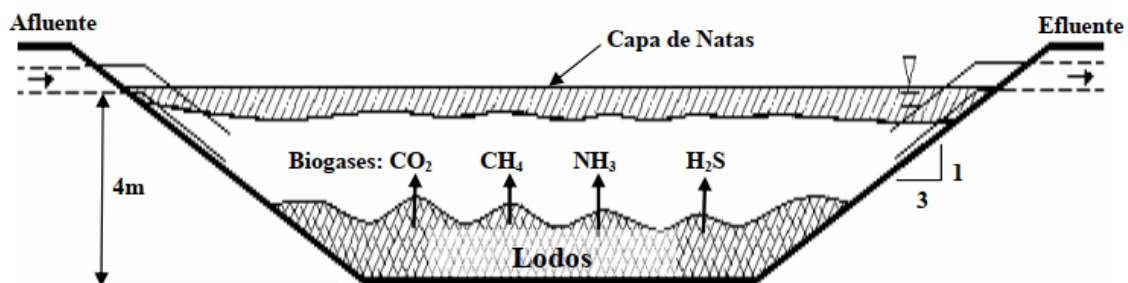


Figura 19. Esquema de una laguna anaeróbica. Fuente: Oakley, 2005

La profundidad de estas lagunas oscila entre los dos y los 6 metros y su diseño está basado en experiencias previas, donde los principales parámetros son el tiempo de retención y la carga orgánica volumétrica. Para diseñar las lagunas se utilizan las peores condiciones climáticas, para garantizar que bajo circunstancias críticas el tratamiento siga siendo efectivo, esto se debe principalmente que en temperaturas bajas la actividad metabólica de los microorganismos se ve afectada. En este caso se tomó el promedio de la temperatura media en invierno de los últimos cuatro "Anuarios Meteorológicos de la Provincia de Córdoba" en los que la localidad de Alejandro Roca, presentó valor de 10,45°C.

Teniendo en cuenta que el efluente analizado ingresa a la planta con una DBO de 1314 mg/l y que luego del tratamiento primario ésta se reduce en un 25%, la DBO del afluente a las lagunas es de 985 mg/l (Tchobanoglous & Burton, 1995).

Utilizando el modelo de Vincent, que supone condiciones de mezcla completa dentro de la laguna se procede a diseñar la laguna anaeróbica en base a la carga orgánica volumétrica (Romero Rojas, 2000).

$$COV = 16.5 T - 100 \quad (8)$$

COV = carga orgánica volumétrica, $\frac{g m^3}{d}$

T = temperatura de diseño

Se considera una temperatura de diseño de 35°C teniendo en cuenta que el efluente de planta posee una temperatura de 53°C.

Seguidamente, se calcula el volumen del espejo de agua a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{liquido}} = \frac{CO}{COV} \quad (9)$$

V_{liquido} = volumen del líquido, m^3

CO = carga orgánica, $\frac{g}{d}$

Donde la carga orgánica se determina a partir de la ecuación (10).

$$CO = Q S_0 \quad (10)$$

Q = caudal, $1800 \frac{m^3}{d}$

S_0 = demanda biológica de oxígeno del afluente, $\frac{g}{m^3}$

A su vez, se calcula un excedente de volumen para la generación de lodos, que según bibliografía resulta ser de $0.04 \frac{m^3}{hab d}$, la población equivalente servida para el afluente a la laguna es:

$$P = \frac{Q S_0}{60 \frac{g}{d} hab} \quad (11)$$

P = población equivalente servida, hab

Y el volumen de generación de lodos por año resulta ser:

$$V_{\text{lodos}} = 0.04 \frac{m^3}{hab año} P \quad (12)$$

V_{lodos} = volumen de lodos generados por año, $\frac{m^3}{año}$

Si se fija un volumen total de la laguna de $10.000 m^3$ siendo V lodos:

$$V_{\text{lodos}} = V_{\text{total}} - V_{\text{liquido}} \quad (13)$$

El período de desenlode resulta ser:

$$\text{Período desenlode (años)} = \frac{V_{\text{lodos}}}{0.04 \frac{m^3}{\text{hab año}} P} \quad (14)$$

Para determinar el tiempo de retención del efluente, sin tener en cuenta el volumen de los lodos, se emplea la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{V_{\text{liquido}}}{Q} \quad (15)$$

θ = tiempo de retención, d

Por último, se fija una profundidad de 5 metros de la laguna, por lo cual la misma poseerá un área superficial aproximada de:

$$A = \frac{V_{\text{total}}}{Z} \quad (16)$$

A = área, m²

Z = profundidad, m

Para facilitar la construcción de las lagunas y evitar que las paredes de la misma colapsen, se realiza un diseño de tronco piramidal, su desarrollo se encuentra a continuación.

$$A = BL \quad (17)$$

$$L = 2B \quad (18)$$

L= largo de la laguna, m

B= ancho de la laguna, m

Por lo tanto, el área resulta ser:

$$A = 2B^2 \quad (19)$$

Si se utiliza una relación 3:1 (horizontal a vertical), el área superficial e inferior de la laguna serán:

$$A_{\text{sup}} = (L + 3Z)(B + 3Z) \quad (20)$$

$$A_{\text{inf}} = (L - 3Z)(B - 3Z) \quad (21)$$

A_{sup} = área superficial de la laguna, m²

A_{inf} = área inferior de la laguna, m²

Finalmente, se comprueba el volumen de la laguna a partir de la siguiente ecuación.

$$V_{TC} = \frac{Z}{3} (A_{sup} + A_{inf} + \sqrt{A_{sup} A_{inf}}) \quad (22)$$

V_{TC} = volumen tronco piramidal, m³

El volumen obtenido del tronco piramidal es de 10167 m³, siendo este muy cercano al valor adoptado. En la Tabla VI se presentan los valores obtenidos para los parámetros mencionados con anterioridad.

Tabla VI. Parámetros de diseño de laguna anaeróbica.

Parámetro (abreviatura)	Unidad	Valor
<i>Caudal (Q)</i>	m ³ /d	1800
<i>Temperatura de diseño (T)</i>	°C	35
<i>Carga orgánica volumétrica (COV)</i>	g/m ³ d	478
<i>Tiempo de retención (θ)</i>	d	2
<i>Carga orgánica (CO)</i>	kg/d	1774
<i>Volumen del líquido (Vl)</i>	m ³	3715
<i>Población servida</i>	hab	29565
<i>Volumen de lodos (V lodos)</i>	m ³	6285
<i>Producción de lodos</i>	m ³ /año	1182
<i>Área superficial</i>	m ²	3600
<i>Período desenlode</i>	años	5

Finalmente, al establecerse una remoción del 60% por presentar una temperatura de 35°C en el afluente de la laguna, la DBO del efluente será de 395 mg/l, siendo la DBO inicial de 985 mg/l. Al exigirse una DBO de 30 mg/l para volcar el efluente en el cuerpo de agua receptor se colocan lagunas facultativas a continuación.

Para corroborar la temperatura del líquido en la laguna durante el invierno, se aplica la ecuación de Mancini y Barnhart (Wang, Pereira, & Hung, 2009).

$$T_w = \frac{A_{sup} f T_a + Q T_i}{A_{sup} f + Q} \quad (23)$$

T_w = temperatura del agua de la laguna, °C

T_i = temperatura del afluente, 53°C

f = factor de proporcionalidad, 0,5 el factor de proporcionalidad es función de los coeficientes de transferencia de calor, el efecto del viento y la humedad.

La temperatura obtenida para el líquido en invierno es de 31 grados, siendo ésta muy cercana a la escogida como diseño.

3.3.1.2 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas son las más utilizadas entre las lagunas de estabilización y son las que mayor superficie tienen, ya que no poseen una gran profundidad. En el volumen de agua se presentan dos zonas con características diferentes, en el fondo del cuerpo de agua, existe una zona anaeróbica y en la superficie una zona aerobia. Las bacterias aeróbicas reducen la materia orgánica por asimilación y oxidación, liberando dióxido de carbono y productos secundarios, las algas por su parte, toman el dióxido de carbono para realizar la fotosíntesis y liberar oxígeno, generando una simbiosis entre ambas poblaciones (Figura 20). Las lagunas tienen un color característico azul verdoso por la presencia de algas y también puede haber fauna como tortugas y sapos que no afectan la estabilidad del estanque. Además de la fotosíntesis, el oxígeno ingresa al cuerpo de agua por difusión o por acción de los vientos que generan oleaje en la superficie de la laguna. (Tchobanoglous & Burton, 1995).

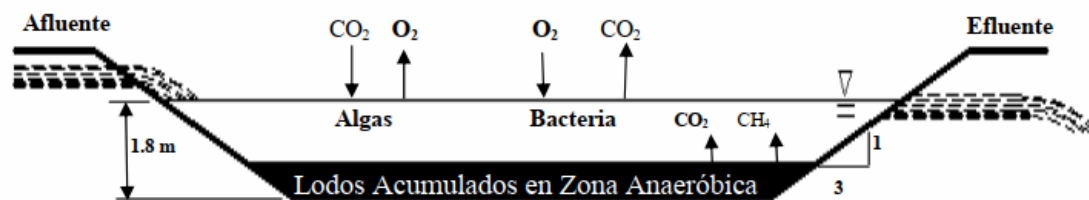


Figura 20. Esquema de una laguna facultativa con una zona aeróbica y una anaeróbica bien diferenciadas. Fuente: Oakley, 2005

En las lagunas facultativas se registra una disminución de los patógenos, como resultado de la sedimentación de huevos de helmintos, los largos tiempos de retención hidráulica, los rayos UV y el aumento de pH en la laguna.

Para determinar las dimensiones de las lagunas facultativas existen diversos métodos, con base en modelos de reactor de mezcla completa y cinética de remoción de primer orden o aquellos que toman como base la carga orgánica superficial y que según distintas experiencias han demostrado ser válidos (Romero Rojas, 2000).

A continuación, se desarrollarán los modelos que se basan en la carga superficial, éstas son dependientes de la temperatura ambiente como ocurre en el caso de las lagunas anaerobias. Teniendo en cuenta que estas lagunas recibirán el efluente de la laguna anaerobia, se considera que la primera laguna facultativa será primaria para poder aplicar satisfactoriamente los modelos empíricos, los resultados obtenidos de carga orgánica se encuentran entre los establecidos por los distintos autores.

Mc Garry y Pescod desarrollaron las siguientes ecuaciones:

$$CSM = 60,3 (1,0993)^{T_a} \quad (24)$$

$$CSR = 10,35 + 0,725 CSA \quad (25)$$

CSM = carga orgánica superficial máxima aplicable, $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$

CSR = carga orgánica superficial removida, $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$

CSA = carga orgánica superficial aplicada, $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$

T_a = temperatura ambiente del mes más frío, 10,4°C

Mara y Silvia, por otro parte, recomiendan la siguiente ecuación para determinar la remoción de DBO en las lagunas facultativas:

$$CSR = 2 + 0,79 CSA \quad (26)$$

CSA = carga orgánica superficial de DBO total aplicada, entre 100 y 400 $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$

Según Yañez que diferencia lagunas primarias de secundarias estableció que:

$$CSM = 357 (1,085)^{T-20} \quad (27)$$

$$T = 8,59 + 0,82 T_a \quad (28)$$

T = temperatura promedio del agua para el mes más frío, °C

En el caso de las lagunas primarias con cargas aplicadas entre 200 a 1158 $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$:

$$CSR = 7,67 + 0,8063 CSA \quad (29)$$

Y para lagunas secundarias con CSA entre 40 y 210 $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$:

$$CSR = -0,8 + 0,765 CSA \quad (30)$$

Finalmente, Cubillos expresó que:

$$CSM = 714,3 Z (1,085)^{T-35} \quad (31)$$

Donde para lagunas primarias con cargas aplicadas entre 79 y 594 $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$, la carga orgánica superficial removida es:

$$CSR = 25,133 + 0,675 CSA \quad (32)$$

Y para lagunas secundarias con cargas de 29 a 244 $\frac{kg\ DBO}{ha\ d}$:

$$CSR = -3,8179 + 0,8167\ CSM \quad (33)$$

Z= profundidad de la laguna, m

T = temperatura del mes más frío, °C

Para establecer el porcentaje de remoción de cada uno de los métodos empíricos se utiliza la ecuación siguiente.

$$Remoción = \left(1 - \frac{CSM - CSR}{CSM}\right) 100 \quad (34)$$

Tabla VII. Resultados obtenidos al aplicar los métodos de diseño de lagunas facultativas. L1 hace referencia a laguna primaria y L2 a laguna secundaria.

Método	CSM (kg DBO /ha d)	CSR (kg DBO/ha d)	Remoción (%)
McGarry y Pescod	161	127	79%
Mara y Silva	88	72	81%
Yañez (L1)	282	235	83%
Yañez (L2)		215	76%
Cubillos(L1)	279	214	76%
Cubillos(L2)		224	80%

Para modelar se utilizó, al igual que en caso de las lagunas anaerobias, la temperatura ambiente del mes más frío, es decir 10,4°C. Como se puede apreciar en la Tabla VII, todos los métodos se encuentran en un rango de 70-80% en términos de remoción de la DBO, lo que brinda robustez al cálculo. Se seleccionan aquellos porcentajes de remoción mínimos para asegurarse que el efluente final es apto para vuelco, aún en las peores condiciones. Se elige el criterio de Cubillos para la laguna primaria y el de Yañez para la laguna secundaria.

A su vez, se determinó el área superficial de las lagunas y su correspondiente volumen, estableciendo una profundidad de 2 metros para todos los estanques, como muestran las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{CO}{CSM * 1000\ gr/kg} \quad (35)$$

$$V = A * 2m \cdot 10000 \frac{m^2}{ha} \quad (36)$$

A = área, ha

Aplicando un diseño de tronco piramidal y siguiendo el procedimiento que se muestra desde la ecuación (17) a la ecuación (22), se obtuvieron los valores de la Tabla VIII.

Tabla VIII. Valores obtenidos de área y volumen para las lagunas a construir.

	Número	Área (ha)	Volumen (m3)	Tiempo de retención (d)
Lagunas primarias	2	1,42	25409	28
Laguna secundaria	1	0,69	11839	7
Total	3	3,53	62656	35

Como se observa en la Tabla VIII, se instalarán dos lagunas primarias en paralelo, de 1,5 hectáreas cada una para facilitar su operación y mantenimiento, ya que un solo espejo de agua supondría un manejo más dificultoso, seguidas de una laguna facultativa secundaria. De esta forma el afluente, proveniente de la laguna anaerobia posee una DBO de 394,2 mg/l, luego de ser estabilizado por las lagunas facultativas, tendrá una DBO final de 22 mg/l. Para poseer un mayor rango de seguridad respecto a la normativa (DBO ≤ 30 mg/l) se establece una laguna de maduración luego de las facultativas.

Dentro de las lagunas facultativas la remoción de nitrógeno se debe principalmente a la volatilización del amonio y a la sedimentación de las bacterias que asimilaron los compuestos nitrogenados. Para determinar la remoción dentro las mismas se utiliza el siguiente modelo (Reed, 1985).

$$N_e = N_0 e^{-K_t(\theta+60,6(pH-6,6))} \quad (37)$$

N_e = concentración de nitrógeno total en el efluente de la laguna, mg/l

N_0 = concentración de nitrógeno total en el afluente de la laguna, mg/l

K_t = constante de remoción de nitrógeno, $0,064 * 1,039^{T-20}$

Se utilizó la temperatura de invierno dentro de cada una de las lagunas como diseño (utilizando la ecuación (23)) ya que presenta la peor condición de remoción de nitrógeno, obteniéndose una concentración de nitrógeno total en la última laguna facultativa de 19 mg/l, como valor de pH se utilizó 9. Para el valor de la concentración de nitrógeno total se utilizó la suma de la concentración de nitrato y del nitrógeno Kjeldahl (nitrógeno orgánico y ion amonio), ya que la concentración de nitritos se supone despreciable.

Para estimar la producción de lodos dentro de la laguna facultativa se utiliza la siguiente ecuación (Oakley, 2005). Suponiendo una concentración de sólidos suspendidos de 120 mg/l proveniente de la laguna anaeróbica, y de 50 mg/l proveniente de las lagunas facultativas primarias se obtienen los resultados presentados en la Tabla IX (Tchobanoglous & Burton, 1995).

$$V_L = 0,00156 Q SS \quad (38)$$

V_L = volumen de lodos producidos anualmente, m³/año
SS = sólidos suspendidos en el afluente

La frecuencia de limpieza de sólidos de las lagunas se estima necesario cuando éstos alcanzan un 25% del volumen total de la laguna (Oakley, 2005).

$$F_l = \frac{0,25 V}{V_L} \quad (39)$$

F_l = frecuencia de limpieza, años

Tabla IX. Producción de lodos y frecuencia de limpieza de las lagunas facultativas.

	Lagunas primarias	Laguna secundaria
Volumen de lodos (m ³ /año)	168	140
Frecuencia de limpieza (años)	37	21

3.3.1.3 Laguna de maduración

Las lagunas de maduración tienen como principal objetivo la reducción de patógenos, virus, parásitos y coliformes. Teniendo en cuenta que una proporción del efluente tratado cuenta con descargas cloacales se considera la construcción de una laguna de maduración para que los organismos mencionados o bien cumplan su ciclo de vida o sean eliminados del efluente mediante desinfección natural.

El diseño de las lagunas de maduración es iterativo, en el mismo se establece un tiempo de retención hasta alcanzar los valores deseados de reducción de carga orgánica y coliformes fecales. Al no contar con el dato de este último, se toma la recomendación de bibliografía, que indica que luego de los 10 días se reducen considerablemente los coliformes fecales. A continuación, se encuentran los criterios de diseño de la laguna de estabilización y sus respectivos resultados en la Tabla X (Martínez Cortés, Cansino Treviño, López Sáenz, Barrios González, & De la Cruz Acosta, 2016).

En el método se establece un tiempo de retención entre 5 y 20 días, en este caso se escogió 8 días, de esta forma, el volumen se extrae de la ecuación (15) y el área superficial de la ecuación (16), teniendo en cuenta que la profundidad del estanque de maduración es de un metro.

Para determinar la remoción de carga orgánica se utiliza un factor cinético que resulta ser:

$$K_f = \frac{1,2}{(1,085)^{35-T_a}} \quad (40)$$

K_f = factor cinético, d^{-1}

T_a = temperatura ambiente del mes más frío, 10,4 °C

Consecuentemente se determina la DBO del efluente de la laguna.

$$S = \frac{S_0}{K_f \theta + 1} \quad (41)$$

S = DBO soluble del efluente, mg/l

S_0 = DBO soluble del afluente, mg/l

Tabla X. Parámetros representativos del diseño de la laguna de maduración.

Parámetro (abreviatura)	Unidad	Valor
Tiempo de retención (θ)	d	8
Volumen (V)	m ³	14400
Profundidad (Z)	m	1
Área (A)	ha	1,5
Coefficiente cinético (K_f)	1/d	0,16
DBO efluente (S_0)	mg/l	9,6

La remoción de los compuestos nitrogenados en la laguna de maduración, al igual que en las facultativas, se debe principalmente a la captación biológica por parte de las bacterias y su posterior sedimentación, seguido de la volatilización del amonio. Aun así, la remoción de nitrógeno total es cercana al 8% en los estanques de maduración (Camargo Valero & Mara, 2007).

3.3.2 Alternativa B: Sistema de laguna aireadas

Las lagunas mecánicamente aireadas permitirán la estabilización de la materia orgánica, luego de que el efluente pase por una primera laguna anaeróbica, permitiendo reducir en gran medida el tamaño de las lagunas subsiguientes como también su requerimiento de oxígeno. El aporte de oxígeno se realizará mediante aireadores superficiales, la turbulencia que éstos aportan permite mantener la homogeneidad dentro del cuerpo de agua, y mantener en suspensión el contenido del mismo (Figura 21).

Teniendo en cuenta que gran parte de la DBO reducida se transformará en tejido celular es necesaria la colocación de un sedimentador secundario o una laguna facultativa con una zona de recolección de fangos luego de la laguna aireada.

El tratamiento de efluentes mediante lagunas aireadas posee muchos puntos de convergencia con la tecnología denominada fangos activos de aireación prolongada, siendo la dinámica microbiana muy similar. Las diferencias radican en que las lagunas no suelen tener reciclo por lo que cantidad de microorganismos en suspensión es menor a la de lodos activados, la falta de bacterias es compensada por el gran volumen de los estanques. A su vez, la superficie expuesta a la atmósfera que posee la laguna hará que la dinámica dentro de la misma sea condicionada por los factores climáticos de la zona.

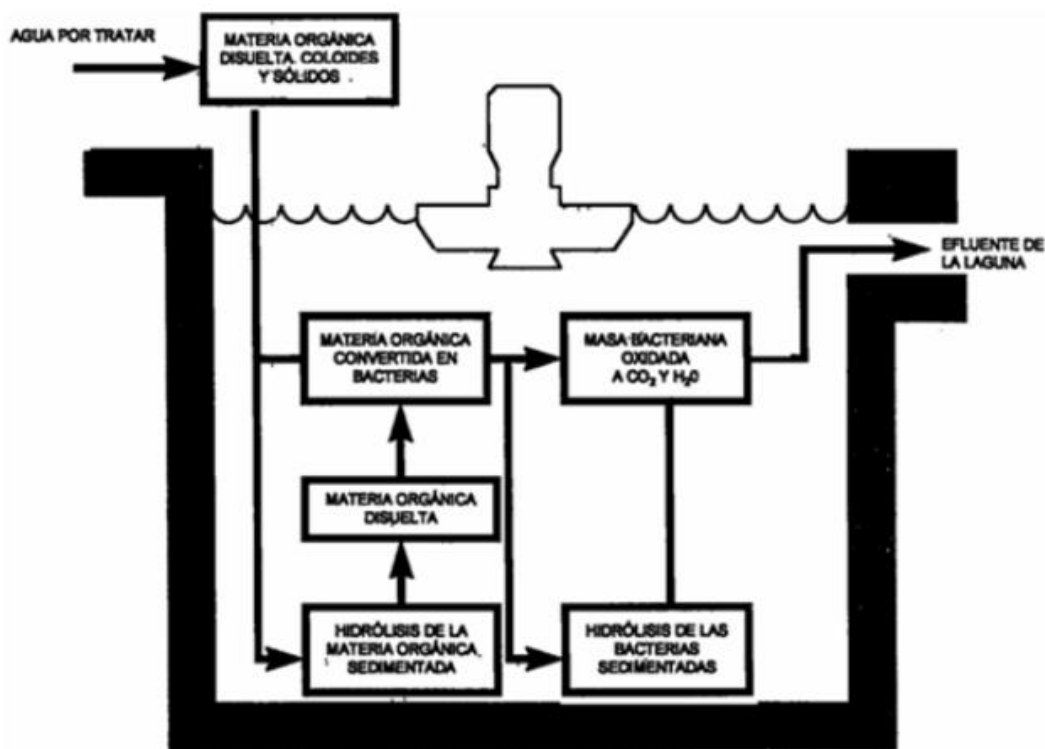


Figura 21. Esquema de laguna aireada superficialmente.

El principal parámetro de diseño es el tiempo medio de retención celular, que se debe escoger considerando la floculación de las bacterias para que sean eliminadas fácilmente por sedimentación y que debe aplicarse un factor de seguridad para evitar la pérdida de sólidos del sistema (Tchobanoglous & Burton, 1995).

Las lagunas serán semienterradas y estarán recubiertas con una membrana que impedirá la infiltración del afluyente al cuerpo de agua, cada una contará con featímetros, aguas arriba, aguas abajo y otro en la misma laguna con el fin de detectar la presencia de filtraciones o pasivos ambientales.

Se realizarán estudios de topografía para determinar la escorrentía del agua superficial, como también estudio de las napas de la zona, para evitar encharcamientos en las excavaciones.

A continuación, se desarrollará el diseño de dos lagunas aireadas que se considera un reactor de mezcla completa sin reciclo. Teniendo en cuenta que la concentración inicial de los microorganismos en el afluente de la laguna es depreciable el tiempo celular y el tiempo de retención hidráulico son iguales. La velocidad de disminución de la DBO en la laguna es función del tiempo de permanencia del afluente en el cuerpo de agua, de la temperatura, de la naturaleza del líquido y de los sólidos volátiles en suspensión (Ramalho, 1993).

El volumen y el área de las lagunas, quedan definidos por el caudal, el tiempo de retención del líquido y la profundidad del estanque, el volumen se extrae de la ecuación (15) y el área superficial de la ecuación (16).

Teniendo en cuenta que no hay reciclo de lodos, el tiempo de retención hidráulico y celular se consideran iguales. Si se supone que la disminución de la DBO sigue una cinética de primer orden y se desea modelar lagunas en serie se sigue la siguiente ecuación (Environmental Protection Agency, 2002) .

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{(1 + kt/n)^n} \quad (42)$$

S = DBO soluble del efluente, mg/l

S₀ = DBO soluble del afluente, mg/l

k = constante global de eliminación de primer orden de DBO, d⁻¹

n = número de lagunas en serie

t = tiempo de detención total en el sistema, d

Como se mencionó con anterioridad, la reducción de la materia orgánica en el líquido depende de la temperatura ya que ésta puede reducir la actividad biológica y por lo tanto la eficiencia del tratamiento (Tchobanoglous & Burton, 1995). Teniendo en cuenta que la constante de eliminación global de primer orden es función de la temperatura del agua, se utiliza la ecuación (23) desarrollada por Mancini y Barnhart para determinarla bajo condición media de verano e invierno.

Por lo tanto, el efecto de la temperatura en la constante global de eliminación de la DBO es:

$$k = k_{20} \theta_a^{T_w - 20} \quad (43)$$

K₂₀ = constante de tasa de eliminación de la DBO soluble, 2,4 d⁻¹

En la Tabla XI se puede observar el área ocupada por cada una de las lagunas, con un tiempo de retención total en el sistema de tres días y medio, para alcanzar una DBO final de 7 mg/l en invierno y 4 mg/l en verano. Para ambas lagunas se estableció una relación 3:1 entre largo y ancho, como también una relación 3:1 para los taludes.

Tabla XI. Áreas y porcentajes de remoción para las lagunas aireadas superficialmente.

	Remoción (%)		
	Área (m ²)	Invierno	Verano
1er laguna	2153	91	93
2da laguna	1604	80	84

Para cumplir con las necesidades de aireación se debe establecer el requerimiento de oxígeno para ambas lagunas aireadas, el mismo tiene en cuenta la estabilización de la materia orgánica como también la nitrificación y la producción de lodos.

$$RO = \frac{Q (S_0 - S)kg}{f 1000 g} - 1,42 P_x + 4,57 Q \frac{(N_0 - N)kg}{1000 g} \quad (44)$$

RO= requerimiento de oxígeno, kg O₂/d

f = factor de conversión de DBO₅ en DBO_L, 0,68

4,57 = factor de conversión para la oxidación completa del NKT

N = concentración de amoníaco en la salida del reactor, mg/l

N₀= concentración de amoníaco en la entrada del reactor, mg/l

Donde P_x, que es la producción de fangos en kilogramos por día, tiene la siguiente relación, el resultado de la misma se puede ver en la Tabla XII.

$$P_x = \frac{Y}{1 + \theta_c k_d} Q (S_0 - S) \frac{kg}{1000 g} \quad (45)$$

Y = coeficiente de producción máxima. Relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, 0.41

K_d = coeficiente de descomposición endógena, 0.06 d⁻¹

θ_c= tiempo de retención celular, d

Seguidamente se establece el requerimiento estándar de oxígeno (SOR, *standard oxygen requirement*) que depende la temperatura, la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar de la locación del reactor es:

$$SOR = \frac{RO/24 h}{\frac{B}{C_S} (C_w - C_L) 1,024^{T-20} \alpha} \quad (46)$$

SOR = requerimiento estándar de oxígeno, kg O₂/h

B = factor de corrección por salinidad, 1

C_L = CO₂ en crecimiento, 2,5 mg/l

C_w= CO₂ concentración de oxígeno saturado en agua limpia a 20°C y 1 atm, 9,17 mg/l

T = temperatura del líquido, 37°C (T de verano)

α = factor de corrección de transferencia de oxígeno, 0,8

C_w = C de saturación para agua residual en condiciones locales, 8.8 mg/l (20°C, 200 msnm)

En este caso se utiliza la temperatura de verano para diseñar la aireación de los estanques ya que la difusión del oxígeno en el agua se ve reducida, siendo ésta la situación más crítica.

Según Tchobanoglous & Burton (1995) es posible adoptar que un aireador superficial tiene una capacidad nominal de transferencia de 1,8 kg O₂/KW h, por lo tanto, la potencia necesaria instalada para satisfacer el requerimiento de oxígeno es de:

$$\text{Potencia instalada aireación} = \frac{SOR}{1,8 \text{ kg O}_2/\text{KW h}} \quad (47)$$

A su vez, se debe asegurar mezcla completa dentro de la laguna, asumiendo una potencia necesaria de 15,6 KW/10³m³, se determina la potencia a instalar.

$$\text{Potencia instalada mezcla} = V * 15.66 \text{ Kw}/10^3 \text{ m}^3 \quad (48)$$

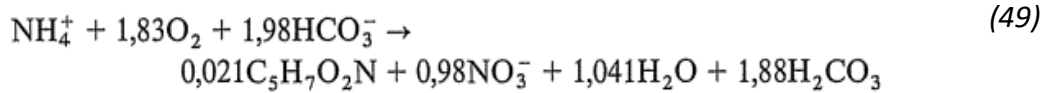
La potencia total necesaria para garantizar la aireación en ambas lagunas es de 52 KW y la potencia para la mezcla asciende a 98 KW, por lo tanto, los requerimientos energéticos necesario para la mezcla determinan el dimensionamiento de los aireadores, aun así, se puede instalar una menor potencia haciendo que las lagunas no funcionen en régimen de mezcla completa. Por el motivo recién explicado en la primera laguna se cumplirán los requerimientos de mezcla y en la segunda los de aireación únicamente.

Tabla XII. Producción de fangos, requerimiento de oxígeno y potencia de aireación y mezcla para las lagunas aireadas mecánicamente.

	<i>Prod. de fangos(kg/d)</i>	<i>Reqto. de oxígeno (kg O₂/d)</i>	<i>Reqto. estándar de oxígeno(kg/h)</i>	<i>Potencia instalada aireación (KW)</i>	<i>Potencia instalada mezcla (KW)</i>
<i>1era laguna</i>	250,41	952,67	46,11	25,62	56,16
<i>2da laguna</i>	16,05	426,45	21,42	11,90	42,12
<i>Total</i>	266,46	1379,11	67,53	37,52	98,28

La remoción de NTK dentro de la laguna se estima adoptando el método que presentan Tchobanoglous y Burton (1995) para lodos activos. Para asegurarse que se cumplen todos los parámetros establecidos por la norma se procedió a determinar si se alcanzan los valores estipulados para la concentración de NTK en el efluente final. El

proceso de nitrificación consta de dos etapas, la primera el amonio se convierte en nitrito (en presencia de oxígeno) por acción de un género de bacterias denominadas *Nitrosomonas spp.*, en la segunda etapa las *Nitrobacter spp.*, transforman el nitrito en nitrato, Donde la reacción global es:



Para corroborar que el proceso de nitrificación se efectúe dentro de la laguna de mezcla completa se realizó el siguiente desarrollo, teniendo en cuenta que el factor limitante del mismo es el crecimiento de las *Nitrosomonas spp.*, se calcula inicialmente su tasa de crecimiento (Tchobanoglous & Burton, 1995).

$$\mu'_{mN} = \mu_{mN} e^{0.098*(T-15)} \frac{OD}{k_{O_2} + OD} (1 - 0,833(7,2 - pH)) \quad (50)$$

μ'_{mN} = tasa de crecimiento en las condiciones de temperatura, oxígeno disuelto y pH del reactor para *Nitrosomonas spp.*, d^{-1}

μ_{mN} = tasa máxima de crecimiento específico de *Nitrosomonas spp.*, $0,5 \text{ d}^{-1}$

T = temperatura, 25°C

OD = oxígeno disuelto, $2,5 \text{ mg/l}$

k_{O_2} = constante de media velocidad del oxígeno disuelto, $1,3$

pH = $8,5$

Seguidamente se determina la máxima tasa de utilización de sustrato, k' , mediante:

$$k_N = \frac{\mu'_{mN}}{Y_N} \quad (51)$$

$\mu'_{mN} = 1,8 \text{ d}^{-1}$

Y_N = masa de células de *Nitrosomonas spp.* formadas por masa de sustrato consumido, $0,2$

A continuación, se calcula el tiempo mínimo de retención celular y el tiempo de retención celular del proyecto adoptando un factor de seguridad de $2,5$.

$$\frac{1}{\theta_c^m} \sim Y_N k_N - k_{dN} \quad (52)$$

$$\theta_c = FS \theta_c^m \quad (53)$$

k_N = tasa máxima de utilización de sustrato para *Nitrosomonas spp.*, $1,3 \text{ d}^{-1}$

k_{dN} = coeficiente de degradación endógena para *Nitrosomonas spp.*, $0,05 \text{ d}^{-1}$

Se determina también el factor de utilización del sustrato para la oxidación del amoníaco (U_N) para verificar luego la concentración de salida del amoníaco total.

$$U_N = \frac{1}{Y} \left(\frac{1}{\theta_c} + k_{dN} \right) \quad (54)$$

$$N = \frac{U_N K_N}{k_N - U_N} \quad (55)$$

N = concentración de amoníaco en la salida del reactor, mg/l

$U_N = 3,8 \text{ d}^{-1}$

K_N = tasa conjunta de nitrificación $10^{0,051T-1,158}$, 1,3 mg/l

Donde la concentración final de amonio resulta ser 0.9 mg/l, siendo 3mg/l lo máximo establecido por la norma.

Teniendo en cuenta que el tiempo de retención celular obtenido para garantizar la nitrificación dentro de la laguna es de 1,4 días, podemos asegurar que tanto la oxidación de la materia orgánica como la del amonio se llevarán a cabo dentro del sistema.

Como se mencionó con anterioridad, es necesario colocar una balsa de sedimentación para remover los sólidos que se generaron como producto de la estabilización de la materia orgánica, en esencia, microorganismos.

Se procurará que el tiempo de retención del líquido sea adecuado para asegurarse la sedimentación de los sólidos, como también disponer el volumen suficiente para el almacenamiento de fangos. Entre los principales problemas que puedan presentarse encontramos la generación de olores por la descomposición anaerobia de los fangos y el crecimiento de algas. El primero se evitará empleando como mínimo una profundidad de 1 metro y para evitar el desarrollo de algas se colocarán filtros de piedras (Tchobanoglous & Burton, 1995), entre la zona aireada de la laguna y la especificada para la sedimentación.

Para el diseño se supuso una retención hidráulica de 8 días, efectuando una limpieza de lodos cada 3 años, que el nivel del líquido sobre la máxima acumulación de lodos será de 1,5m y que el 70% de los sólidos totales descargados en el tanque son volátiles.

Inicialmente se determina la acumulación anual de fangos sin descomposición anaerobia.

$$\text{Masa}_{ST} = \frac{(SS_i - SS_e) Q 365 \text{ d } kg}{1000 \text{ g año}} \quad (56)$$

SS_i = sólidos suspendidos en el afluente del estanque de sedimentación, mg/l

SS_e = sólidos suspendidos en el efluente del estanque de sedimentación, 30 mg/l (40 mg/l normativa)

Los sólidos suspendidos en el afluente del sedimentador se determinan como figura a continuación.

$$SS_i = S_0 + \frac{X}{0,8} \quad (57)$$

SS = sólidos suspendidos en el afluente del sedimentador secundario, mg/l
X = concentración de células, mg/l

Donde la estimación de la concentración de sólidos biológicos producidos en cada laguna es:

$$X = \frac{Y (S_0 - S)}{1 + k_d \theta} \quad (58)$$

Seguidamente se determina la masa acumulada anualmente de sólidos volátiles y sólidos fijos.

$$Masa_{SSV} = Masa_{ST} 0,7 \quad (59)$$

$$Masa_{SF} = (Masa_{ST} - Masa_{SV}) \quad (60)$$

Suponiendo una reducción máxima del 75% de los sólidos volátiles por descomposición anaerobia por año, y que la misma obedece una estimación lineal. Se emplea la siguiente ecuación para determinar su acumulación al final del tercer año.

$$SSV_3 = (0,7 + 0,25 (3 - 1))Masa_{SSV} \quad (61)$$

Por ende, los sólidos totales acumulados al final del tercer año serán:

$$SS_3 = Masa_{SSV} + 3 Masa_{SF} \quad (62)$$

En cuanto a las dimensiones del tanque es necesario determinar el volumen del líquido y luego el área teniendo en cuenta las consideraciones iniciales ya mencionadas, utilizando las ecuaciones (15) y (16) respectivamente, utilizando una profundidad mínima de un metro y medio.

Por último, se establece la profundidad necesaria para la acumulación de los lodos durante tres años, asumiendo que los mismos se compactarán un 15% y que poseen una densidad de 1,06 g/ml.

$$d = \frac{\frac{SS_3}{A}}{1,06 \cdot 0,15 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3} \quad (63)$$

d = espesor de lodos al tercer año, m

La laguna tendrá una profundidad total de 2,59 metros con un área superficial de 4243 m² aproximadamente, al final del tercer año la masa a recolectar de sólidos será de 625 toneladas.

Teniendo en cuenta que la laguna de sedimentación tiene las características de una laguna facultativa, se emplea la ecuación (37) para determinar la eliminación de nitrógeno total en la misma, obteniéndose una concentración final de nitrógeno total de 51 mg/l. Teniendo en cuenta que la mayoría de este compuesto se encuentra en la forma de nitrato debido al proceso de nitrificación (49), y que existen requerimientos legales para la concentración de este compuesto en el efluente final (máximo 10mg/l), se requerirá un tratamiento terciario para remover el ion nitrato.

3.3.3 Alternativa C: Lodos activos

La tecnología de lodos activos es utilizada como tratamiento biológico hace más de un siglo, en sus inicios se constató empíricamente que el agua residual urbana o industrial, que se sometía a una aireación durante un determinado tiempo, poseía menor carga orgánica y se desarrollaba un lodo floculento, siendo las bacterias los microorganismos más importantes presentes en el mismo.

Tomando como esquema principal el reactor de mezcla completa de la Figura 22, es posible establecer los principales parámetros de diseño del mismo. En el tanque de aireación se estabiliza la materia orgánica por medio de los microorganismos que se desarrollan en el líquido bajo condiciones aerobias y disponibilidad de nutrientes, con la consiguiente formación de nuevas células, liberación de dióxido de carbono y agua, compuestos nitrogenados y compuestos orgánicos sencillos.

En el sedimentador se produce la separación entre los fangos generados y el líquido tratado para lograr que este último posea la menor proporción de sólidos suspendidos posible. La recirculación de los lodos, RAS (por sus siglas en inglés, *return activated sludge*) se establece para mantener una concentración constante de microorganismos dentro del reactor siendo éste un factor fundamental para la remoción de los compuestos orgánicos. La purga del tanque, WAS (por sus siglas en inglés, *waste activated sludge*) tiene como principal función mantener un nivel estable de lodos dentro del tanque de sedimentación como también evitar la recirculación de lodos viejos y problemas en el tanque de aireación.

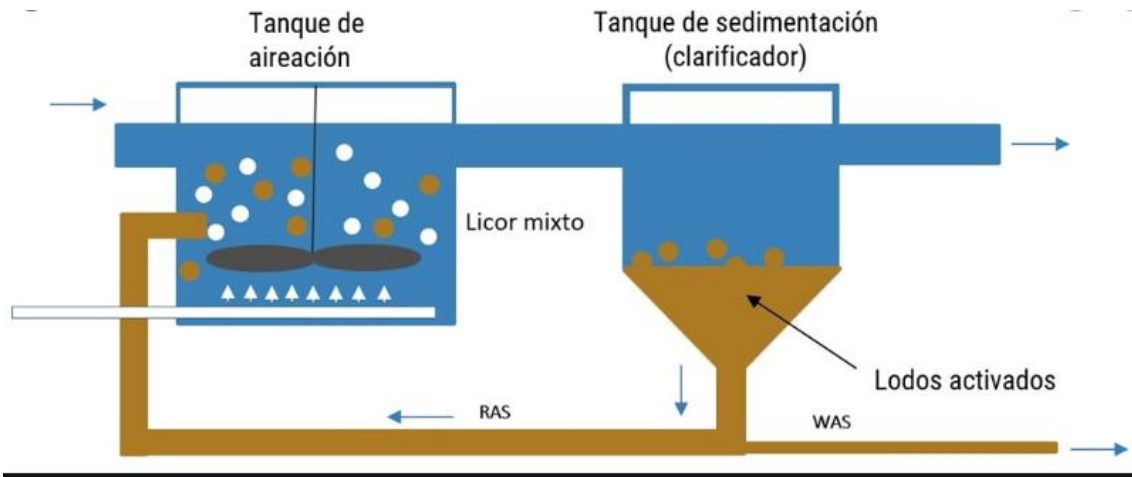


Figura 22. Esquema de un proceso de lodos activos. Fuente: Google Imágenes.

Para implementar la tecnología de lodos activos y que la misma sea viable, es necesario reducir la temperatura del efluente de planta para que los microorganismos dentro del reactor posean condiciones óptimas. Por este motivo se coloca una laguna facultativa previa, para estabilizar la temperatura y a su vez remover la carga orgánica del efluente.

Se utiliza el modelo de mezcla completa y cinética de primer orden para diseñar la laguna facultativa, el mismo supone que las partículas del líquido que ingresan al estanque se dispersan a través de todo el volumen y que no hay gradientes de concentración dentro de la laguna. Al establecerse un balance de masas, que toma a la laguna como volumen de control se obtiene la siguiente ecuación.

$$S = \frac{S_0}{1 + K\theta} \quad (64)$$

K = constante de reacción de primer orden para remoción de DBO, $0,17 \cdot 1,05^{T-20}$, d^{-1}

Si se fija un tiempo de retención de 10 días para lograr reducir la temperatura del líquido, se obtiene un volumen de 18000 m^3 para la laguna. Adoptando una forma de tronco piramidal para la laguna con una relación 2:1 entre largo y ancho y una pendiente 3: 1 para los taludes se obtiene un área superficial de 1 hectárea (Ecuaciones (19) a (22)), obteniéndose una temperatura máxima en verano de 36°C del líquido dentro de la laguna (Ecuación (23)). Siendo 21°C la temperatura de invierno para el fluido dentro de la laguna, la DBO final del efluente es de 353 mg/l y la concentración de nitrógeno total es 42 mg/l (Ec. (37)). El volumen de lodos generados en el espejo de agua es de 570 m^3 por año (Ec. (38)), considerando una concentración de sólidos suspendidos de 204 mg/l provenientes del tratamiento primario, con una frecuencia de limpieza de 7 años aproximadamente (Ec. (39)).

Para el desarrollo preliminar del sistema de lodos activos se establecen balances de masa (sustrato y microorganismos) en todo el sistema, como también balances de caudales. Siguiendo el siguiente planteamiento:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Crecimiento neto}$$

Asumiendo un estado estacionario dentro del sistema y que tanto la concentración de entrada como de salida de microorganismos del efluente son cero, y que las bacterias obedecen un crecimiento tipo Monod con decaimiento, se llega a la siguiente ecuación para el balance de microorganismos:

$$Q_p X_r = V \left(\frac{\mu_{\max} X S}{k_s + S} - X k_d \right) \quad (65)$$

Q_p = caudal en la purga del sedimentador, 20 m³/d

X_r = concentración de microorganismos en la línea de recirculación de lodos, 10000 mg/l

V = volumen del tanque de agitación, m³

μ_{\max} = máxima tasa de crecimiento específico, 1 d⁻¹

X = concentración de microorganismos en el tanque de aireación, 3000 mg/l

S = concentración de sustrato en el efluente (DBO), 20 mg/l

k_s = constante de saturación media, 165 mg/l

k_d = coeficiente de descomposición endógena, 0,06 d⁻¹

Del balance de caudales se establece que:

$$Q_0 = Q_s + Q_p \quad (66)$$

Q_0 = caudal de producción, 1800 m³/d

Q_s = caudal de salida en el sedimentador, m³/d

Y del balance de sustrato se accede a la siguiente ecuación, donde la única incógnita es el volumen del reactor:

$$Q_0 (S_0 - S) = V \left(\frac{\mu_{\max} X S}{Y k_s + S} \right) \quad (67)$$

S_0 = concentración de sustrato en el afluente del tanque de aireación (DBO), 353 mg/l

Y = coeficiente de producción máxima. Relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, 0,41

Seguidamente se realiza un balance de carga de los microorganismos en el sedimentador para poder obtener el caudal de reciclo, obteniéndose la siguiente relación:

$$(Q_r + Q_0) X = Q_s X_s + (Q_r + Q_p) X_r \quad (68)$$

Con las ecuaciones mencionadas con anterioridad es posible extraer el volumen del reactor, los caudales de purga, de reciclo y de salida. Con éstos, es posible definir los siguientes parámetros de control como son el tiempo de retención celular (Θ_c) y la relación F/M, que establece el nivel de sustrato disponible en relación a los microorganismos disponibles.

$$F/M = \frac{Q S_0}{X V} \quad (69)$$

$$\theta_c = \frac{V X}{Q_p X_r} \quad (70)$$

En la Tabla XIII figuran las principales variables que se obtienen para el diseño del reactor, el valor para la relación F/M se encuentra entre los rangos establecidos por bibliografía y el tiempo de retención celular se encuentra cerca del límite superior, por lo tanto, sería posible regular el caudal de purga para reducir el tiempo que los lodos pertenecen en el sistema para evitar problemas de sedimentación.

Tabla XIII. Parámetros de diseño del sistema de lodos activos

Parámetro	Unidad	Valor
Remoción	%	94
Volumen	m ³	759
Caudal de purga	m ³ /d	20
Caudal de salida	m ³ /d	1780
F/M		0,39
Tiempo de retención celular	d	11,4

Si finalmente se establece una profundidad mayor a 5 metros, se obtiene un área superficial aproximada del reactor de 151 m².

Para asegurarse que se cumplen todos los parámetros establecidos por la norma, se utilizaron las ecuaciones (49) a (55) para determinar si se alcanzan los valores estipulados para la concentración de amonio en el efluente final. Se toma que la concentración total de nitrógeno (42,7mg/l) que ingresa los lodos activos corresponde en un 100% a nitrógeno amoniacal en este caso.

La concentración final de nitrógeno amoniacal resulta ser de 0,6 mg/l con una temperatura de 21°C, siendo 3mg/l lo máximo establecido por la norma.

A continuación, se determina el tiempo de retención mínimo del líquido tanto para la oxidación de DBO, como para la del amoníaco, ambos compuestos presentes en el afluente al reactor de lodos activos. Inicialmente se calcula la tasa de eliminación de la DBO (U).

$$U = \frac{1}{Y} \left(\frac{1}{\theta_c} + k_d \right) \quad (71)$$

Y = masa de células formadas por masa de sustrato consumido, 0,41

k_d = coeficiente de degradación endógena, 0,06 d⁻¹

Obteniéndose un valor de 0,36 kg DBO eliminada/kg SSVLM d, que será introducido en la siguiente ecuación para obtener el tiempo de retención hidráulico para garantizar la oxidación de la materia orgánica y por consiguiente un volumen mínimo de reactor

$$\theta = \frac{S_0 - S}{XU} \quad (72)$$

$$V = Q \theta \quad (73)$$

θ = tiempo mínimo de retención hidráulico, 0,31 d

De igual forma, a partir del valor de U_N es posible extraer el tiempo mínimo de retención hidráulico para la oxidación de nitrógeno, obteniéndose un valor de 0,3 horas.

Teniendo en cuenta que el tiempo de retención celular mínimo obtenido para garantizar la oxidación dentro del reactor es de 2 días, y que el volumen mínimo obtenido es de 555 m³, podemos asegurar que tanto la oxidación de la materia orgánica como la del amonio, se llevarán a cabo dentro de nuestro sistema ya que estos valores se encuentran dentro los establecidos para el reactor como se observa en la Tabla XIII.

Como producto del proceso de nitrificación una pequeña proporción del amonio es asimilada como tejido celular y gran parte es convertida a nitrato (49), al existir requerimientos legales para la concentración de nitrato en el efluente final (como máximo 10mg/l), se propone el proceso de Ludzak-Ettinger modificado (Figura 23) para garantizar la eliminación de los compuestos nitrogenados a través de la desnitrificación.

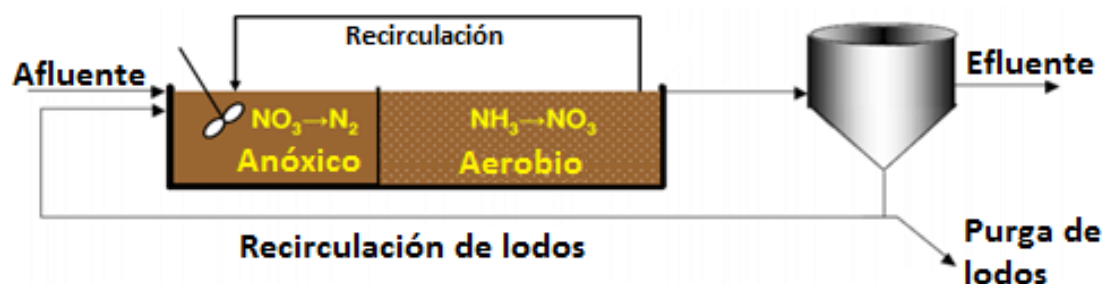
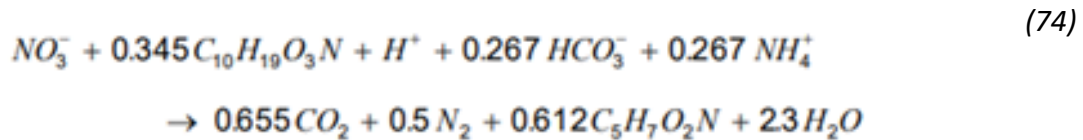


Figura 23. Esquema del proceso de Ludzak-Ettinger modificado con una zona preanóxica. Fuente: Google Imágenes.

La reacción de desnitrificación es heterotrófica y utiliza los nitratos como aceptores finales de electrones en lugar de oxígeno, siendo eliminado N₂ gaseoso a la atmósfera (74), utilizándose como fuente de carbono la que proviene del afluente (C₅H₉ON) con la consiguiente formación de tejido celular (C₅H₇O₂N). A su vez, se incluye este proceso para evitar el fango ascendente en el sedimentador secundario como consecuencia de la desnitrificación en los lodos viejos (Suárez & Jácome, 2007).



La tasa de reciclo se establece para suministrar nitratos en la zona anóxica y que éstos sean transformados en nitrógeno gaseoso. A continuación, se diseña la zona anóxica comenzando por definir la tasa de reciclo[®] (Tchobanoglous & Burton, 1995).

$$\frac{\text{NTK}_{\text{ox}}}{N_e} - 1 = R = \frac{Q_{ri}}{Q_t} \quad (75)$$

NTK_{ox} = masa total de NTK oxidable, $\text{NTK}_{\text{af}} - \text{NTK}_{\text{ef}}$, 42,1 mg/l

N_e = nitrato en el efluente, 5 mg/l

Q_{ri} = caudal de reciclo interno, m³/d

Q_t = caudal total, 2500 m³/d

Se obtiene un caudal de reciclo interno de 18.000 m³/d dentro del compartimento anóxico, también se determina el tiempo de residencia y volumen necesario para que se produzca efectivamente la desnitrificación en dicho reactor.

$$\theta_{DN} = (1 - V_{\text{aerobio}})\theta \quad (76)$$

$$\theta_{DN} = \frac{N_{\text{desnit}}}{U_{DN}X} \quad (77)$$

θ_{DN} = tiempo de detención anóxico, d

V_{aerobio} = fracción volúmica del reactor aerobio respecto al volumen total, 0,75

N_{desnit} = cantidad de nitrato a desnitrificar, 42,1 mg/l

U_{DN} = tasa de desnitrificación, 0,09 mg NO₃-N/mg SSV d

Hasta que ambos tiempos de detención coincidan se hace variar la fracción aeróbica obteniéndose un valor final de 0,3, por lo que el volumen del compartimento anóxico resulta ser de 531 m³ y un área superficial de 106 m² (con una profundidad de 5 metros). Para efectuar el reciclo interno se colocará una bomba de 75 KW y dos agitadores sumergidos de 2 KW cada uno para garantizar la mezcla en el reactor anóxico.

Otro factor a tener en cuenta es garantizar la oxigenación dentro del tanque de aireación como también la mezcla dentro del mismo, para ello se calcula el requerimiento de oxígeno que involucra la masa de oxígeno utilizada en la estabilización de la materia orgánica y en la nitrificación, como también la masa de organismos purgados del sistema utilizando la ecuación (44).

Seguidamente se establece el requerimiento de oxígeno (Ec. (44)) y el requerimiento estándar de oxígeno (SOR, *standard oxygen requirement*) que depende la temperatura, la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar de la locación del reactor a través de la ecuación (46), utilizando en este caso una concentración de oxígeno disuelto de 2,5 mg/l y un caudal total de 2300 m³/d.

Teniendo en cuenta que la profundidad del reactor es de 5 m, se propone incorporar difusores de burbuja fina con un caudal de diseño de 5 Nm³/h, que a la profundidad establecida entregan un total de 380 gO₂/h. Se emplean las siguientes ecuaciones para determinar el número necesario de difusores.

$$\text{N}^\circ \text{ difusores } 5 \text{ Nm}^3/\text{dif h} = \frac{SOR}{SOTE/100} \cdot d \cdot 280 \text{ gO}_2/\text{h} \quad (78)$$

SOR= requerimiento estándar de oxígeno, g/h

SOTE= eficiencia estándar de transferencia de oxígeno, 6,5%

Siendo necesarios un total de 234 difusores para satisfacer las necesidades de oxigenación. Para alimentar los difusores se coloca un soplador con un caudal de 1269 m³/h y una potencia de 5,6 kW, se dispone de otro similar como back up.

Debe tenerse en cuenta que se requiere la construcción de un sedimentador secundario, pero no es un factor relevante a la hora de establecer una comparativa con el resto de las metodologías de tratamiento, aunque sí se tiene en cuenta en términos de inversión y mantenimiento.

3.4 Tratamiento terciario

3.4.1 Cámara de cloración

El efluente ingresará a una cámara de cloración luego del tratamiento secundario en el caso de la alternativa B y C, para reducir la carga bacteriana del mismo y que ésta no afecte al cuerpo de agua receptor.

Se utilizará hipoclorito de sodio como agente desinfectante que se inyectará en una cámara de contacto con forma laberíntica (Figura 24) mediante una bomba dosificadora, para asegurar que el líquido permanece el tiempo suficiente dentro de la misma, para garantizar la desinfección.



Figura 24. Esquema de una cámara de cloración laberíntica. Fuente: Google Imágenes.

3.4.2 Desnitrificación

Para las alternativas A y B se proponen dos opciones para reducir la concentración de nitratos en el efluente final; la instalación de filtros desnitrificantes o la filtración del efluente por medio de carbón activado (Figura 25).

En el caso de los filtros desnitrificadores, es posible eliminar los nitratos presentes en el efluente final, mediante el paso del fluido por una resina aniónica que poseen los filtros, reemplazando aniones nitrato y sulfato por cloruros presentes en el medio filtrante. La remoción de nitratos y sulfatos es muy selectiva y se obtienen remociones de hasta del 85%. Como contrapartida de esta alternativa al desconocerse la concentración de cloruros en el efluente final, es posible que éstos impidan una correcta remoción por competencia con la resina aniónica.



Figura 25. Filtro de carbón activado (izq), filtro desnitrificador con tanque de resina aniónica (der). Fuentes: <https://www.aqua-dealer.com/producto-desnitrificadores-serie-diafragmas-idrf-48.php> ; <https://www.plantasdeosmosis.com/productos/filtros-de-agua-industriales/filtros-de-carbon-activo/50/filtro-carbon-activo-de-valvulas-automaticas.html>

La metodología de carbón activado como tratamiento terciario tiene como principal objetivo reducir olores, sabores y decolorar agua, ya sea residual o para consumo humano. Se han encontrado estudios que determinan una remoción del 67% (Moşneag, Popescu, Dinescu, & Borodi, 2014), y del 56% (Nunell, Fernández, Bonelli, & Cukierman, 2008) de nitrato. Aunque destacan que para esta tecnología el efluente debe tener una concentración de sólidos suspendidos menor a 25 mg/l, es una alternativa viable ya que sería suficiente para alcanzar los valores establecidos por la norma de nitrato (≤ 10 mg/l).

3.5 Elección de alternativa

Luego de realizar un diseño básico de tres alternativas (Figura 26) se procede a seleccionar cuál se implementará finalmente para poder cumplir con los estándares de

vuelco que exige la normativa y garantizar un sistema de tratamiento que perdure en el futuro y sea propenso a modificaciones para aumentar su eficiencia.

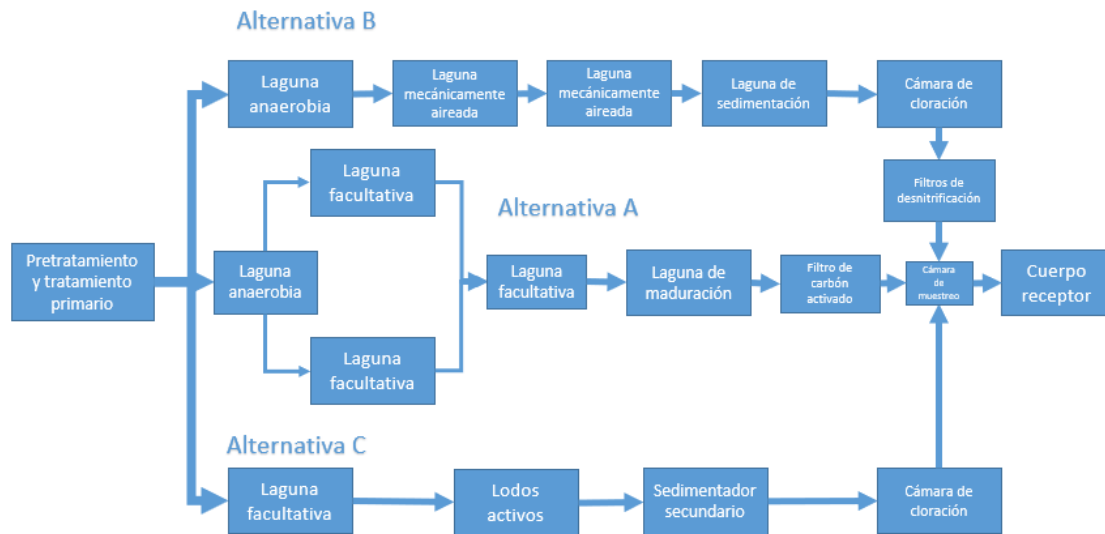


Figura 26. Esquema de las metodologías propuestas.

En la Tabla XIV se muestran los parámetros de diseño más representativos de las metodologías propuestas con anterioridad a fin de establecer puntos de comparación entre cada una de ellas. Es importante destacar que éstos no consideran el dimensionamiento del pretratamiento y el tratamiento primario, como tampoco el tratamiento terciario necesario para las alternativas A y B, relacionado con la desnitrificación.

Tabla XIV. Parámetros representativos de cada una de las alternativas propuestas.

	Área (ha)	Producción de fangos (m ³ /año)	Potencia instalada (kW)	Remoción DBO	Remoción de Nitrógeno
Alternativa A: Sistema de lagunas de estabilización	5,41	1660	0	99%	82%
Alternativa B: Sistemas de lagunas aireadas	1,16	1522	68,1	99%	47%
Alternativa C: Lodos activos	1,05	3116	84,5	98%	94%

Teniendo en cuenta que el área designada para el nuevo tratamiento es de 10 hectáreas, este parámetro no sería un impedimento para desarrollar las alternativas, en especial la de lagunas de estabilización, siendo ésta la que más área ocupa.

La superficie que ocupan las lagunas se debe principalmente a las bajas temperaturas que se presentan en los meses de invierno, siendo necesario mayores volúmenes de líquido y más estanques de agua y por consiguiente mayor área ocupada, aunque este aspecto se ve contrarrestado en cierta medida por la elevada temperatura que presenta el efluente de planta. En cuanto a las otras dos alternativas existe una mínima diferencia respecto al área ocupada.

La producción de fangos en el caso de la Alternativa C es aproximadamente el doble que para las metodologías A y B lo que incurriría en un mayor gasto por el tratamiento posterior de los lodos generados.

La potencia a instalar en lo que concierne a aireación y mezcla para la alternativa A y B, es superior en el caso de los lodos activos, siendo la bomba de recirculación interna el equipo de mayor potencia necesaria (75 KW).

En términos de remoción de la DBO, las tres metodologías poseen la eficiencia necesaria para alcanzar el valor establecido por la normativa (30 mg/l), con un amplio margen de seguridad. En cuanto a la remoción de nitrógeno, la alternativa C es la única que logra remover este compuesto, para lograr un efluente apto para volcar al Río Cuarto.

En menor medida las lagunas de estabilización logran una remoción de nitrógeno, debido a mayores tiempos de residencia respecto de las lagunas aireadas mecánicamente.

A su vez, tanto la alternativa B como la C, requieren una cámara de cloración para reducir la presencia de microorganismos del efluente.

Tabla XV. Parámetros cualitativos de las tres alternativas consideradas. Adoptado de Oakley (2005) y Comisión Nacional de Agua (2007).

Proceso de tratamiento	Lagunas de estabilización	Lagunas aireadas	Lodos activos
<u>Nivel de complejidad</u>	Bajo	Medio-alto	Alto
<u>Nivel de capacitación del personal</u>	Bajo	Medio-alto	Alto
<u>Requerimientos de monitoreo</u>	Bajo	Medio-alto	Alto
<u>Sensibilidad a altas cargas orgánicas</u>	Baja	Baja-media	Alta
<u>Sensibilidad a altas cargas hidráulicas</u>	Baja	Baja-media	Alta
<u>Sensibilidad a compuestos tóxicos</u>	Baja	Baja-media	Alta
<u>Gasto de operación y mantenimiento</u>	Bajo	Medio	Alto

Teniendo en cuenta los factores analizados con anterioridad y lo expuesto en la Tabla XV, se decide escoger la alternativa A, ya que cuenta con muchos aspectos positivos, entre ellos encontramos los bajos costes de operación y mantenimiento, ya que no requiere de equipos electromecánicos (aireación o bombeo de agua). Tampoco se requieren operadores especializados lo que facilita la implementación de esta metodología.

Entre otros aspectos positivos encontramos la simplicidad de la construcción de esta alternativa, siendo la excavación la principal actividad, y un reducido número de obras

civiles como las estructuras de ingreso, interconexiones, salidas y revestimiento de taludes (Kayombo, Mbwette, Katima, Ladegaard, & Jørgensen, 2004).

A su vez el manejo de lodos es estacionario y no continuo como en las otras alternativas, siendo necesaria la remoción de fangos a partir de los 2 años de operación de la planta. De esta manera se evita tener un tratamiento continuo de los barros generados y se evitan los riesgos de manejar y disponer sanitariamente los lodos contaminados.

Como producto de los elevados tiempos de retención en las lagunas, éstas poseen una mayor resiliencia frente a cargas orgánicas inusualmente elevadas o presencia de compuestos tóxicos en el afluente lo que brinda mayor estabilidad al proceso (Oakley, 2005)

La construcción de una laguna de maduración mejora las condiciones bacteriológicas de la laguna por su capacidad de remover patógenos lo que evita la adición de una cámara desinfectante que encarecería la operación del sistema.

En el caso de que la normativa se torne más exigente es posible modificar el sistema para mejorar su eficiencia aireando las lagunas facultativas mecánicamente o construyendo más lagunas por la disponibilidad de terreno.

4 Memoria de cálculo

4.1 Pretratamiento

4.1.1 Sistema de rejas

Para el sistema de rejas se dispondrá de dos canales, uno será el principal, que contará con limpieza mecánica y el secundario, de limpieza manual, se utilizará únicamente cuando el principal se encuentre en mantenimiento. Se colocarán compuertas tanto aguas arriba como aguas abajo de ambos canales para facilitar la operación o anulación de los mismos.

Inicialmente se determina el área del canal, para lo cual se adopta una velocidad de acercamiento estándar de 0,45 m/s, para evitar la sedimentación dentro del canal, pero a su vez, ésta debe ser inferior a 1,5 m/s para los caudales punta, para que no exista arrastre de materiales a través de las barras.

$$A_{\text{canal}} = \frac{Q h}{v \cdot 3600 \text{ s}} \quad (79)$$

A_{canal} = Área del canal, m²
 Q = caudal de diseño, m³/h
 v = velocidad de acercamiento, m/s

Se fija a su vez una altura nominal del líquido de 0,1 m para determinar a continuación el ancho del canal, teniendo en cuenta que el mínimo ancho de canal es de 30 cm.

$$a_{\text{pasoi}} = \frac{A_{\text{canal}}}{h_v} \quad (80)$$

a_{pasoi} = ancho del canal inicial, m
 h_v = altura del líquido normal o tirante, m

Para efectuar el desbaste se escogen barras circulares, con una separación entre barras de 30 mm y un ángulo de inclinación respecto a la horizontal de 60°. Por consiguiente, se determina la pérdida de carga en el sistema.

$$h_l = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \sin \theta \quad (81)$$

h_l = pérdida de carga, m
 β = factor de forma, 1,79
 w = profundidad, m
 b = separación entre barras, m
 θ = ángulo de la reja respecto a la horizontal

La pérdida de carga máxima permitida es de 150 mm y se verifica que esta condición se cumpla para el caudal máximo.

A su vez, se determina el número de barrotes a instalar dentro de los canales.

$$N^{\circ}\text{barrotes} = \frac{a_{\text{pasoi}} - b}{ab + b} \quad (82)$$

ab = ancho de barrote, m

Teniendo en cuenta el número de barrotes y el número de espacios, se calcula nuevamente el ancho del canal.

$$a_{\text{pasofinal}} = N^{\circ}\text{barrotes } ab + N^{\circ}\text{espacios } b \quad (83)$$

$a_{\text{pasofinal}}$ = ancho del canal final, m

N° espacios = $N^{\circ}\text{barrotes} + 1$

Con esta nueva área de paso se determina la velocidad de paso real por el canal para los tres caudales (punta, medio y mínimo), para corroborar que se encuentran dentro de los valores sugeridos. En la Tabla XVI, se puede apreciar que para los caudales medio y mínimo la velocidad de acercamiento se encuentra entre los rangos sugeridos, en el caso del caudal máximo, podría haber arrastre a través de las rejas, en caso de que se alcanzara esta condición existe la posibilidad de abrir el canal secundario de rejas manuales.

Tabla XVI. Velocidades de acercamiento para el caudal pico, medio y mínimo,

<i>Caudal (m³/h)</i>	204,4	75,0	44,0
<i>Velocidad de acercamiento (m/s)</i>	1,4	0,5	0,3

Para calcular la altura final del canal se agrega un margen de seguridad de medio metro en casa de taponamiento de las rejas, teniendo en cuenta que la pérdida de carga estimada es para cuando las rejas se encuentran limpias.

$$h_{\text{tot}} = (h_l + h_v) + 0,5 \text{ m} \quad (84)$$

Tabla XVII. Dimensiones principales del sistema de rejas.

Parámetro	Valor
Tirante (m)	0,1
Ancho del canal (m)	0,4
Ancho barrote (mm)	5
Espacio entre rejas (mm)	30

Altura total (m)	0,6
Ángulo (°)	60
N° barrotes	10

Para disponer los residuos que extrae el peine de accionamiento que limpia las rejjas se colocará, sobre el canal, una placa perforada con un diámetro de agujero menor a 25 mm, ésta soportará un canasto para almacenar los residuos que retira el mecanismo de limpieza de las rejjas. Por lo tanto, el largo total del canal se calcula de la siguiente forma (Tabla XVIII).

$$L_{tot} = d_a + L_r + L_p \quad (85)$$

d_a = distancia de acercamiento, 0,4 m

L_r = largo de la reja, $\frac{h_{tot}}{\tan \theta}$

L_p = largo de la plataforma, 0,5 m

L_{tot} = largo total del canal, m

El canal secundario poseerá rejjas de limpieza manual, pero tendrá las mismas características de espaciado entre los barrotes y altura total, a excepción del largo total, ya que los sólidos que se retiren de las rejjas se dispondrán en un canasto (Tabla XVIII).

$$L_{tot} = L_{can} + L_r + d_a \quad (86)$$

L_{can} = largo del canasto, 0,4 m

Tabla XVIII. Dimensiones del canal de rejjas mecánicas y reja manual.

Característica	Reja mecánica	Reja manual
<i>Largo horizontal de la reja</i>	0,35	0,35
<i>Largo plataforma</i>	0,50	-
<i>Largo del canasto</i>	-	0,40
<i>Distancia de acercamiento</i>	0,40	0,40
<i>Largo total del canal</i>	1,25	1,15

La reja mecánica es el modelo KMS-300L, cuyo fabricante es TSRUMI-PUMP (Anexo: Figura 62), el motor que acciona las rejjas posee una potencia de 0,1 KW y las mismas son de cadena con limpieza trasera. El volumen de sólidos retenidos por las rejjas se extrae de la Figura 47 que se encuentra en el anexo, resultando un total de 0,14 m³/d.

4.1.2 Tamiz

A continuación del sistema de rejillas se encontrarán dos tamices rotativos de malla perforada de alimentación externa. La pérdida de carga expresada en metros para un tamiz limpio se determina mediante la siguiente ecuación.

$$h_l = \frac{1}{C} \frac{Q}{2gA} \quad (87)$$

h_l = pérdida de carga, m

C = coeficiente adimensional de descarga del tamiz

g = aceleración de la gravedad, 9,8 m/s²

Q = caudal que procesa el tamiz, m³/s

A = superficie efectiva sumergida del tamiz, radio * m²

Como el fabricante no especifica la superficie efectiva del tamiz se determina mediante las siguientes ecuaciones. Inicialmente, se calcula la carga hidráulica a caudal máximo.

$$CH_{max} = (133,5 a^{0,7377} + 3) 0,92 \quad (88)$$

CH_{max} = carga hidráulica a caudal máximo, m³/m² de tambor h

a = luz del tamiz, mm

Seguidamente, se estima la longitud efectiva del tambor filtrante.

$$L = \frac{Q}{\sqrt{250 \frac{mg}{l} / SS_0}} / CH_{max} \pi \phi \quad (89)$$

L = longitud efectiva del tambor filtrante, m

Q = caudal que procesa el tamiz, m³/h

SS_0 = sólidos suspendidos en el afluente, 600 mg/l

ϕ = diámetro del tambor filtrante

Finalmente, se extrae la superficie efectiva sumergida del tamiz.

$$A = \pi \phi L \quad (90)$$

Al igual que para el sistema de rejillas, se calcula la generación de los sólidos retenidos mediante esta tecnología a partir de la siguiente relación, considerándose un rendimiento del 15% según bibliografía:

$$P_x = \frac{SS_0 Q 24 Rto}{1000} \quad (91)$$

P_x = producción de sólidos, kg/d

Rto = rendimiento

En la Tabla XIX se pueden observar los valores de todos los parámetros mencionados con anterioridad.

Teniendo en cuenta la elevada cantidad de sólidos suspendidos en el afluente y el caudal máximo de 204 m³/h, se escogen dos tamices modelo TR 63/120 (Anexo: Figura 63), que procesan un caudal máximo de 115 m³/h cada uno. En condiciones de caudal pico, será necesaria la operación de ambos equipos mientras que, en circunstancias normales, con un caudal de 75 m³/h, se utilizará un solo tamiz. En términos de potencia instalada cada equipo cuenta con un motor de 0,75 KW.

Tabla XIX. Principales especificaciones de los tamices.

Parámetro	Valor
<i>Caudal de diseño (m³/h)</i>	75
<i>Sólidos suspendidos (mg/l)</i>	600
<i>Tamaño orificios (mm)</i>	2
<i>Diámetro tambor (m)</i>	0,6
<i>Coefficiente de descarga</i>	0,6
<i>Superficie libre sumergida efectiva (m²)</i>	0,065
<i>Carga hidráulica a caudal máximo, (m³/m² h)</i>	207,6
<i>Longitud efectiva del tambor filtrante (m)</i>	0,034
<i>Pérdida de carga, caudal de diseño (m)</i>	0,015
<i>Pérdida de carga, caudal máximo (m)</i>	0,077
<i>Producción de fangos (kg/d)</i>	162

Para el efluente tamizado se espera una reducción del 15% para los sólidos suspendidos en el efluente de planta, obteniéndose finalmente una concentración de 510 mg/l.

4.1.3 Sistema de conducción e impulsión

La mayoría de los sistemas de conducción de la planta de tratamiento serán cerrados para evitar riesgos hacia el ambiente y las personas, únicamente el ingreso y egreso del líquido de las lagunas se utilizarán canales para facilitar su limpieza en caso de atascamiento con vegetales o desprendimiento de los sólidos del lecho.

El trazado de las líneas de conducción se optimiza para reducir los puntos de bombeo necesarios, proyectando la menor longitud posible y favoreciendo el escurrimiento por gravedad.

El material escogido para las tuberías es policloruro de vinilo clorado (CPVC), ya que el mismo soporta mayores presiones y temperaturas que el PVC tradicional, teniendo en cuenta la temperatura del efluente de planta (53°C). Este material posee todas las ventajas del PVC, es resistente a la corrosión tanto interna como externa, baja formación de sarro, baja rugosidad y poco peso; todos estos aspectos facilitan la conducción por gravedad minimizando los gastos asociados a impulsión, como también a transporte.

Para facilitar el cálculo de las conducciones se supuso que el líquido transportado es ideal, esto implica que:

- El fluido es no viscoso (se desprecia la fricción interna entre las partículas del líquido)
- Posee un flujo estacionario, por lo que la velocidad del fluido en un punto es constante con el tiempo.
- El fluido es incompresible, siendo la densidad del mismo constante con el tiempo.
- Tiene un flujo irrotacional, es decir que no presenta torbellinos.

A su vez, se considera que el flujo es de régimen turbulento, lo que significa que el perfil de velocidades dentro de las conducciones está totalmente desarrollado.

4.1.3.1 Conducciones a presión

Las secciones de conducción a presión serán entre la primera batería de bombas hasta el ecualizador y desde la segunda batería de bombas hasta los filtros de carbón activado.

Según las recomendaciones que establece el ENHOSA, se establece una velocidad mínima de 0,5 m/s para garantizar la autolimpieza en las tuberías y una velocidad máxima admisible de 3 m/s para tuberías de CPVC.

Para respetar estas velocidades de flujo se establece el área mínima de la cañería en función del caudal.

$$A_{cañmin} = \frac{Q_{medio}}{v_{máx}} \quad (92)$$

$A_{cañmin}$ = área de cañería mínima, m²

$v_{máx}$ = velocidad máxima recomendada en conducción, m/s

El área de cañería mínima obtenida para el caudal medio resulta ser de 0,007 m², seguidamente se extrae el diámetro mínimo para satisfacer las recomendaciones.

$$D_{min} = \sqrt{\frac{A_{cañerías}^4}{\pi}} \quad (93)$$

D_{min} = diámetro mínimo, m

El diámetro mínimo obtenido es de 94 mm para el caudal de diseño (75m³/h), teniendo en cuenta el caudal punta (204 m³/h), se verifica que, para no exceder la velocidad máxima admisible dentro de las conducciones a presión, resulta necesario colocar tuberías de 6'' de cédula 40 con diámetro interno de 153,2 mm (Tabla XX). Estas cañerías serán colocadas desde la impulsión por parte de las bombas hasta el ingreso en el equalizador.

Tabla XX. Velocidades registradas en las tuberías a presión para el rango de caudales, en tuberías de 6''.

Tuberías 6''Sch 40	Valor (m ³ /h)	Velocidad (m/s)
Caudal máximo	204	3
Caudal medio	75	1,1
Caudal mínimo	44	0,64

Para las bombas que impulsarán el líquido desde la salida de la laguna de maduración hasta los filtros de carbón activado se utilizarán tuberías de 8'', por las cuales circulará el efluente a una velocidad de 0,72 m/s con un caudal de 75 m³/h.

4.1.3.2 Conducciones a gravedad

Las conducciones a gravedad se encontrarán desde el proceso productivo hasta las bombas de impulsión, desde el equalizador hasta las bombas de los filtros de carbón activado y luego de los filtros hasta el cuerpo receptor.

Para establecer las dimensiones de las tuberías por conducción a gravedad se utiliza la relación de Chezy-Manning.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (94)$$

v = velocidad de flujo, m/s

n = coeficiente de rugosidad de Manning, 0,011

R_h = radio hidráulico, m

S = pendiente, 1 ‰

El radio hidráulico de una tubería circular se extrae de la siguiente fórmula:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} = \frac{\frac{\theta - \sin \theta}{8} D^2}{\frac{\theta D}{2}} = \left(\frac{1 - \sin \theta}{\theta} \right) \frac{D}{4} \quad (95)$$

A = área mojada, m²

P_m = perímetro mojado, m

D = diámetro, m

θ = ángulo desde el centro del tubo hasta el pelo del agua (Figura 27), 4,18 rad

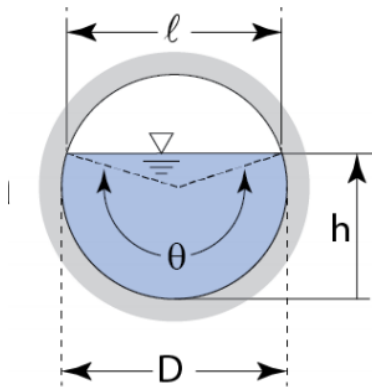


Figura 27. Dimensiones representativas de tuberías. Fuente: Google Imágenes.

Se estima que las cañerías de conducción a gravedad se encuentran parcialmente llenas a un 75%, como se muestra en la Figura 27, es decir que la relación entre h/D es igual a 0,75, de la Figura 48 del Anexo, se extrae el ángulo θ en radianes.

Para la sección de tuberías aguas arriba del tanque equalizador se propone una velocidad de escurrimiento de 0,5 m/s para el caudal de diseño, utilizando la ecuación (92) se extrae el área mojada de la tubería que resulta ser de 0,04 m² y a partir de la ecuación (95) se extrae el diámetro de la misma, obteniéndose 0,25 m (10"). Se colocan de 10" de cédula 40, con un diámetro interno de 0,25 m (Anexo: Figura 50).

Con el diámetro de la conducción se calcula el radio hidráulico y se verifica la velocidad de flujo que resulta ser de 0,5 m/s con una pendiente de 1 ‰ (ecuación (94)). A su vez, se constata que la velocidad de flujo para el caudal punta no supere los 3 m/s, en el caso del caudal mínimo la velocidad no es superior a la recomendada por ENOHS, pero se realiza este sacrificio para evitar mayores pérdidas de carga en caso de circular el caudal punta por las tuberías (Tabla XXI).

Tabla XXI. Velocidades registradas en las tuberías a gravedad para el rango de caudales esperado antes del equalizador, en tuberías de 10".

Tuberías 10" Sch 40	Valor (m³/h)	Velocidad (m/s)
Caudal máximo	204	1,36
Caudal medio	75	0,5
Caudal mínimo	44	0,29

Para las conducciones a gravedad que se encuentran luego del equalizador, en las cuales el caudal oscilará alrededor de los 75 m³/h también se colocarán tuberías de 10" de cédula 40.

Teniendo en cuenta que en condiciones normales las lagunas 2 y 2' operarán en paralelo, el caudal que circulará por las tuberías que llevarán el efluente a las mismas

será de 37,5 m³/h, se determina el diámetro de las nuevas tuberías para garantizar la autolimpieza, siendo necesario colocar tuberías de 8" de cédula 80 con una pendiente de 2 ‰ (Tabla XXII).

Tabla XXII. Velocidad de escurrimiento en tuberías de alimentación de lagunas 2 y 2'.

Tuberías 8" Sch 80	Valor (m³/h)	Velocidad (m/s)
<i>Caudal máximo</i>	75	0,89
<i>Caudal diseño</i>	37,5	0,6

Para el diseño de los canales dentro de la planta de tratamiento se utiliza la relación (94) para determinar la velocidad en los mismos, estos tendrán forma rectangular y para obtener la sección de máxima eficiencia hidráulica el ancho de la base será el doble del tirante, como se muestra en la Figura 28.

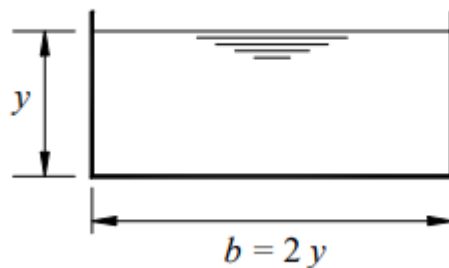


Figura 28. Canal de sección rectangular de máxima eficiencia hidráulica. Fuente: Google Imágenes

El radio hidráulico para esta sección es:

$$R_h = \frac{y}{2} \quad (96)$$

y = tirante, m

De la Figura 49 del Anexo se extrae la siguiente relación:

$$AR_h^{2/3} = 1,26 y^{8/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}} \quad (97)$$

n = coeficiente de Kutter, 0,012 (canal de concreto de revestimiento liso)

S= pendiente, 0,005

Utilizando un caudal de 75 m³/h se obtiene que el tirante (y) es de 0,11m, por lo tanto, la base del canal es de 20 cm aproximadamente en los canales por los que circula el caudal de diseño, teniendo en cuenta que para las entradas múltiples se utilizan 3 canales el tirante se reduce a 7 cm.

Los canales contarán con un borde libre de 10 cm que se utilizará con el fin de absorber los niveles extraordinarios que puedan presentarse por encima del caudal de diseño del canal.

En el caso de las lagunas en paralelo en las cuales el caudal ingresante será de 37,5 m³/h, y en cada entrada múltiple éste será de 12,5 m³/h el tirante será de 8 y 5 cm respectivamente. Como se puede apreciar en la Tabla XXIII, todas las velocidades cumplen con la condición de autolimpieza ($v > 0,5$ m/s).

Tabla XXIII. Caudal, tirante y velocidad en los canales de ingreso a las lagunas de estabilización.

	Caudal (m³/h)	Tirante (m)	Velocidad (m/s)
<i>Ingreso principal</i>	75	0,11	0,85
<i>Entrada múltiple</i>	25	0,07	0,63
<i>Ingreso principal</i>	37,5	0,08	0,69
<i>Entrada múltiple</i>	12,5	0,05	0,5

Para determinar el tamaño de canaletas Parshall prefabricadas que se colocarán en los canales de ingreso de las lagunas se utiliza la tabla suministrada por el fabricante "Lana Sarrate" (Anexo: Tabla LII), teniendo en cuenta que el caudal máximo de circulación por las canaletas será de 75 m³/h se escogen las de 2" que poseen las dimensiones que se muestran en la Figura 30.

Para estimar el caudal se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = k h_a^n \quad (98)$$

Q= caudal, m³/h

k = 425, m³/h

n = 1,548

h_a = altura del líquido antes de la garganta, m (ver Figura 29)

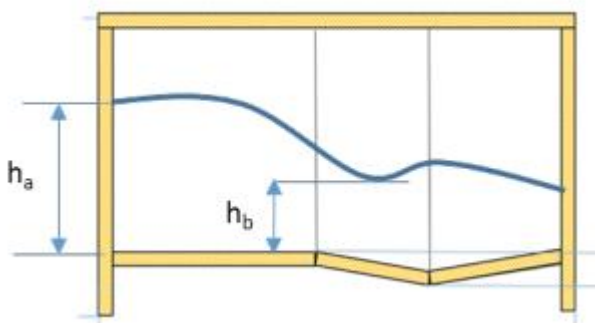
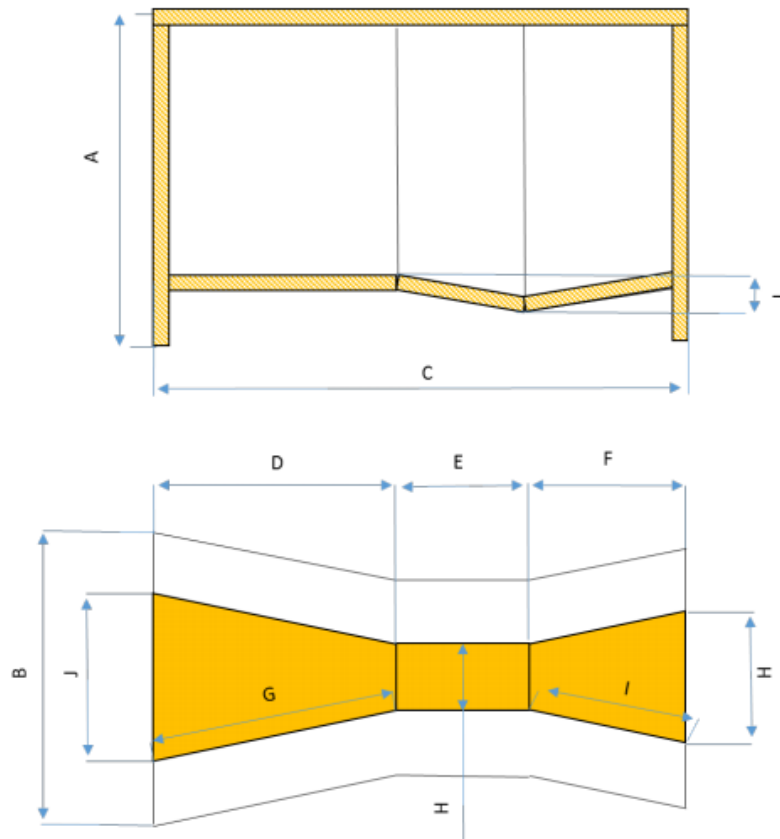


Figura 29. Tirante aguas arriba y aguas abajo de la sección de control. Fuente: https://www.lanasarrate.es/wp-content/uploads/hoja_tecnica_canal_parshall.pdf

Según la norma ISO 1438 la velocidad de circulación a la entrada del canal no debe ser superior a la raíz cuadrada de la aceleración de la gravedad multiplicada por el nivel del agua:

$$v < \sqrt{g h_a} \quad (99)$$

De la ecuación (98), se extrae que h_a es 0,32 m, y sabiendo que la velocidad de circulación por el canal es de 0,85 m/s está condición se satisface.



PARSHALL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1"	358	287	635	356	76	203	363	25	206	167	93	19
2"	468	334	774	406	114	254	414	51	257	214	135	22
3"	685	379	914	457	152	305	466	76	309	259	178	25
6"	765	517	1525	610	305	610	622	152	622	397	394	76
9"	905	695	1626	864	305	457	881	229	463	575	381	76
12"	1184	965	2867	1343	610	914	1370	305	927	845	610	76
24'	1184	1320	3019	1495	610	914	1524	609	926	1206	914	76

unidades en mm

Figura 30. Dimensiones de las canaletas Parshall prefabricadas. Fuente: https://www.lanasarrate.es/wp-content/uploads/hoja_tecnica_canal_parshall.pdf

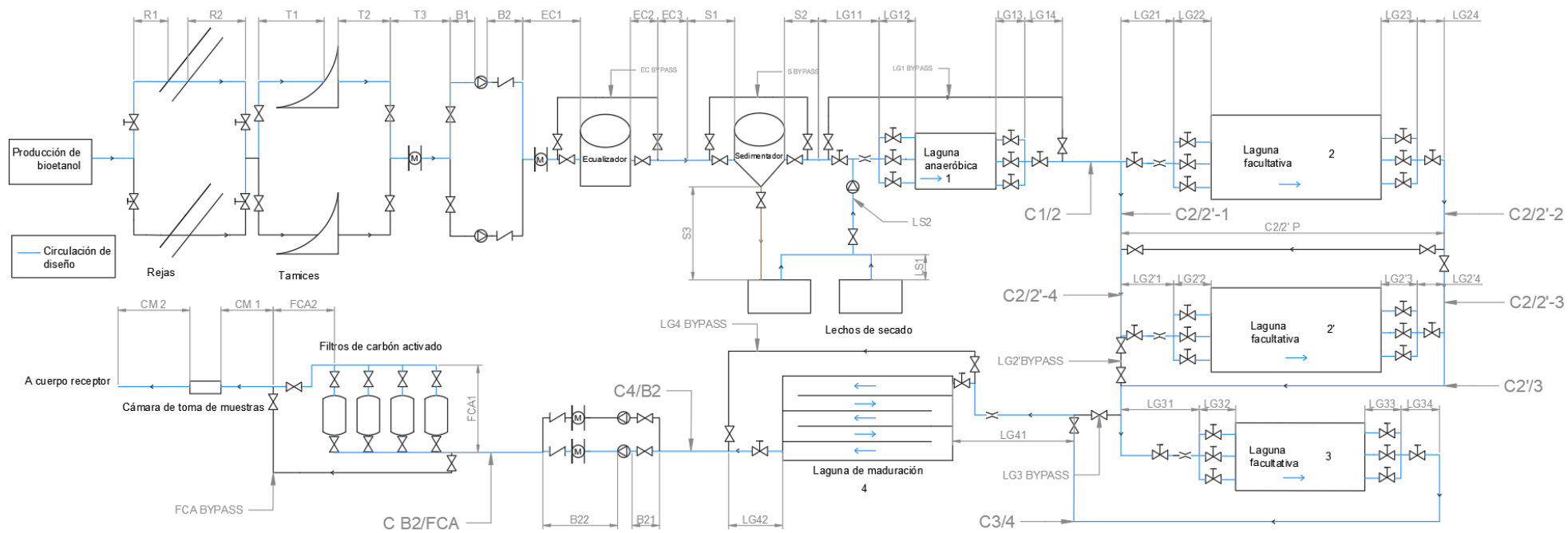


Figura 31. Diagrama de todas las conducciones de la planta. Se especifica el nombre de cada sección y los principales accesorios.

4.1.3.3 Pérdidas de carga en las conducciones

Al circular el efluente de planta por las tuberías se produce una pérdida de presión en el fluido como producto del rozamiento entre las partículas del líquido y las paredes del tubo, como también con accesorios de las conducciones, esta pérdida de carga depende de:

- La sección del tubo
- Longitud de la cañería
- Caudal de circulación
- Material de la tubería
- Tipo de fluido

Esta pérdida de presión en el fluido puede ser calculada mediante la siguiente expresión, que describe las pérdidas continuas debido a la fricción:

$$h_{fc} = \frac{f L v^2}{D 2 g} = \frac{f 8 L Q^2}{g \pi^2 D^5} \quad (100)$$

h_{fc} = pérdida de carga continua, m

f = factor de fricción de fanning

L = longitud de la cañería, m

g = aceleración de la gravedad, 9,8 m/s²

Para estimar el factor de fricción se calcula inicialmente el número de Reynolds a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} \quad (101)$$

Re = número de Reynolds

ρ = densidad del líquido, 995,71 kg/m³ a 30°C

μ = viscosidad del líquido, 7,98x10⁻⁴ kg/ms a 30°C

Finalmente, para obtener el factor de fricción se utiliza la correlación de Haaland para tubos rugosos, que es aplicable para $10^3 < Re < 10^8$ y $e/D < 0,05$, los resultados se observan en la

Tabla XXIV:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,6 \log_{10} \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{e}{3,7D} \right)^{10/9} \right) \quad (102)$$

e = altura promedio de las irregularidades de la superficie, 0,0012

Tabla XXIV. Factores de fricción de fanning para las tuberías de 6", 8" y 10" con caudal de diseño y pico.

Parámetro	6" 75 m3/h (a presión)	6" 204 m3/h (a presión)	6" 102 m3/h (a presión)	8 " 75 m3/h (gravedad)	8 " 75 m3/h (a presión)	10" 75 m3/h (gravedad)	10" 204 m3/h (gravedad)
Diámetro (m)	0,16	0,16	0,16	0,19	0,19	0,24	0,24
v (m/s)	1,1	3	1,5	0,89	0,72	0,5	1,36
Re	213070	581100	289959	214147	172294	150343	409767
e/D	0,008	0,008	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005
f	0,0088	0,0087	0,0088	0,0082	0,0082	0,0077	0,0076

Para determinar la pérdida de carga total en las tuberías es necesario tener en cuenta la fricción con los accesorios a través de la siguiente relación, que describe las pérdidas de carga locales:

$$h_{fl} = \frac{k v^2}{2g} \quad (103)$$

h_{fl} = pérdida de carga local, m

k = constante de fricción de accesorio

En la tabla a continuación (Tabla XXV) se encuentran las constantes de fricción empleadas para determinar las pérdidas locales de la planta de tratamiento, en Tabla LI del Anexo se encuentra el recuento de accesorio por sección de tubería.

Tabla XXV. Constante de fricción de accesorios.

Elemento	K
Codo 90°	0,4
Compuerta	0,5
V. Compuerta (abierta)	0,15
Derivación llegada	1
Derivación salida	1
V. retención	2,5
T llegada	1,25
T salida	1,075
Expansión	1
Contracción	0,5
Canaleta Parshall	2,5

Para estimar la pérdida de carga en los canales, en el ingreso y egreso de las lagunas se utilizará la fórmula de Maning-Strickler, el radio hidráulico se extrae de la relación (94):

$$h_{fcn} = \frac{v^2 n^2 L}{R_h^{4/3}} \quad (104)$$

h_{fcn} =pérdida de carga continua en canales, m

Todas las variables necesarias para determinar las pérdidas de carga tanto locales como continuas en cada una de las secciones de tubería y canales que componen la planta se encuentran en la Tabla XXVI, la longitud de cada una de las secciones ha sido extraída de la Figura 32, en el cual todas las unidades operativas se encuentran a escala.

Todas las pérdidas de carga en las secciones de tubería y canales de la planta se calculan utilizando la velocidad de escurrimiento a caudal máximo para garantizar que aún en situaciones de sobrecarga la planta funciona correctamente.

Tabla XXVI. Características de todas las secciones consideradas para la conducción del líquido dentro de la planta de tratamiento y hasta el cuerpo receptor.

Sección	Tipo/escorrentamiento	Largo(m)	Caudal máximo registrado (m3/h)	Diámetro (m)	Tirante (m)	hf continua (m)	Velocidad (m/s)	Σk	hf local	hf total
EF	Tubería /gravedad	485	204	0,24		1,467	1,36	2,275	0,21	1,68
R1-1	Canal/gravedad	1	204	*	0,1	0,010	1,42	0,5	0,07	0,08
R1-2	Canal/gravedad	1	204	*	0,1	0,010	1,42	0,5	0,07	0,08
R2-1	Canal/gravedad	1	204	*	0,1	0,009	1,42	1,75	0,18	0,19
R2-2	Canal/gravedad	1	204	*	0,1	0,009	1,42	1,75	0,19	0,20
T1-1	Tubería /gravedad	3	102	0,24		0,002	0,68	1,625	0,05	0,06
T1-2	Tubería /gravedad	3	102	0,24		0,002	0,68	1,625	0,05	0,06
T2-1	Tubería /gravedad	1	102	0,24		0,001	0,68	0,55	0,01	0,01
T2-2	Tubería /gravedad	1	102	0,24		0,001	0,68	0,55	0,01	0,01
T3	Tubería /gravedad	1	204	0,24		0,003	1,36	2,325	0,22	0,22
B11-1	Tubería /gravedad	1	102	0,24		0,000	0,67	0,55	0,01	0,01
B11-2	Tubería /gravedad	1	102	0,24		0,000	0,67	0,55	0,01	0,01
B12-1	Tubería /presión	1	102	0,16		0,003	1,50	2,9	0,33	0,33
B12-2	Tubería /presión	1	102	0,16		0,003	1,50	2,9	0,33	0,33
EC1	Tubería /presión	1	204	0,16		0,011	3,00	1,4	0,64	0,65
EC2	Tubería /gravedad	4	204	0,16		0,003	0,50	2,15	0,03	0,03
EC3	Tubería /gravedad	6	75	0,24		0,002	0,50	1,9	0,02	0,03
EC BYPASS	Tubería /gravedad	5	75	0,24		0,002	0,50	1,1	0,01	0,02
S1	Tubería /gravedad	5	75	0,24		0,002	0,50	2,15	0,03	0,03
S2	Tubería /gravedad	4	75	0,24		0,002	0,50	1,65	0,02	0,02
S BYPASS	Tubería /gravedad	4	75	0,24		0,002	0,50	1,1	0,01	0,02
S3	Tubería /gravedad	90	0,37	0,01		2,448	0,91	0,65	0,03	2,48
LG11	Canal/gravedad	8	75	*	0,11	0,040	0,85	6,075	0,23	0,27
LG12-1	Canal/gravedad	14	25	*	0,07	0,070	0,63	1,9	0,04	0,11
LG12-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,9	0,04	0,04
LG12-3	Canal/gravedad	14	25	*	0,07	0,070	0,63	1,9	0,04	0,11

<i>Sección</i>	<i>Tipo/escorrentamiento</i>	<i>Largo(m)</i>	<i>Caudal máximo registrado (m3/h)</i>	<i>Diámetro (m)</i>	<i>Tirante (m)</i>	<i>hf continua (m)</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>	Σk	<i>hf local</i>	<i>hf total</i>
LG13-1	Canal/gravedad	14	25	*	0,07	0,070	0,63	1,4	0,03	0,10
LG13-2	Canal/gravedad	2	25	*	0,07	0,010	0,63	1,4	0,03	0,04
LG13-3	Canal/gravedad	14	25	*	0,07	0,070	0,63	1,4	0,03	0,10
LG14	Canal/gravedad	5	75		0,11	0,025	0,85	1,4	0,05	0,08
LG1 BYPASS	Tubería /gravedad	80	75	0,24		0,033	0,50	0,95	0,01	0,04
C1/2	Tubería /gravedad	45	75	0,24		0,018	0,50	3,55	0,05	0,06
LG21	Canal/gravedad	4	75	*	0,11	0,020	0,85	4,475	0,17	0,19
LG22-1	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,9	0,04	0,41
LG22-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,9	0,04	0,04
LG22-3	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,9	0,04	0,41
LG23-1	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,4	0,03	0,40
LG23-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,4	0,03	0,03
LG23-3	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,4	0,03	0,40
LG24	Canal/gravedad	5	75	*	0,11	0,025	0,85	1,4	0,05	0,08
C2/2'-1	Tubería /gravedad	50	75	0,19		0,087	0,89	1,25	0,05	0,14
C2/2'-2	Tubería /gravedad	50	75	0,19		0,087	0,89	1,25	0,05	0,14
C2/2'-3	Tubería /gravedad	50	75	0,19		0,087	0,89	1,25	0,05	0,14
C2/2'-4	Tubería /gravedad	50	75	0,19		0,087	0,89	1,25	0,05	0,14
C2/2' P	Tubería /gravedad	170	75	0,19		0,296	0,89	2,25	0,09	0,39
LG2'1	Canal/gravedad	4	75	*	0,11	0,020	0,85	4,075	0,15	0,17
LG2'2-1	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,9	0,04	0,41
LG2'2-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,9	0,04	0,04
LG2'2-3	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,9	0,04	0,41
LG2'3-1	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,4	0,03	0,40
LG2'3-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,4	0,03	0,03
LG2'3-3	Canal/gravedad	75	25	*	0,07	0,375	0,63	1,4	0,03	0,40
LG2'4	Canal/gravedad	5	75		0,11	0,025	0,85	1,4	0,05	0,08

PROYECTO FINAL INTEGRADOR
Geretto Patricio Luis

Sección	Tipo/escurrencimiento	Largo(m)	Caudal máximo registrado (m3/h)	Diámetro (m)	Tirante (m)	hf continua (m)	Velocidad (m/s)	Σk	hf local	hf total
LG2' BYPASS	Tubería /gravedad	47	75	0,24		0,019	0,50	0,5	0,01	0,03
C2'/3	Tubería /gravedad	248	75	0,24		0,101	0,50	4,875	0,06	0,16
LG31	Canal/gravedad	4	75	*	0,11	0,020	0,85	4,075	0,15	0,17
LG32-1	Canal/gravedad	19	25	*	0,07	0,095	0,63	1,9	0,04	0,13
LG32-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,9	0,04	0,04
LG32-3	Canal/gravedad	19	25	*	0,07	0,095	0,63	1,9	0,04	0,13
LG33-1	Canal/gravedad	19	25	*	0,07	0,095	0,63	1,4	0,03	0,12
LG33-2	Canal/gravedad	1	25	*	0,07	0,005	0,63	1,4	0,03	0,03
LG33-3	Canal/gravedad	19	25	*	0,07	0,095	0,63	1,4	0,03	0,12
LG34	Canal/gravedad	5	75		0,11	0,025	0,85	1,4	0,05	0,08
C3/4	Tubería /gravedad	50	75	0,24		0,020	0,50	1,4	0,02	0,04
LG3 BYPASS	Tubería /gravedad	47	75	0,24		0,019	0,50	1,4	0,02	0,04
LG41	Canal/gravedad	7	75	*	0,11	0,035	0,85	5,4	0,20	0,24
LG42	Canal/gravedad	6	75	*	0,11	0,030	0,85	1,5	0,06	0,09
LG4 BYPASS	Tubería /gravedad	270	75	0,24		0,110	0,50	1,8	0,02	0,13
C4/B2	Tubería /gravedad	13	75	0,24		0,005	0,50	4,65	0,06	0,06
B21-1	Tubería /gravedad	1	75	0,24		0,000	0,50	2,15	0,03	0,03
B21-2	Tubería /gravedad	1	75	0,24		0,000	0,50	0,55	0,01	0,01
B22-1	Tubería /presión	1	75	0,19		0,001	0,72	2,5	0,07	0,07
B22-2	Tubería /presión	1	75	0,19		0,001	0,72	2,9	0,08	0,08
CB2/FCA	Tubería /presión	800	75	0,19		0,851	0,72	0,95	0,03	0,88
FCA1-1	Tubería /presión	1	25	0,19		0,001	0,72	0,7	0,05	0,05
FCA1-2	Tubería /presión	1	25	0,19		0,001	0,72	2,3	0,10	0,10
FCA1-3	Tubería /presión	1	25	0,19		0,001	0,72	2,3	0,10	0,10
FCA1-4	Tubería /presión	1	25	0,19		0,001	0,72	2,3	0,10	0,10
FCA2	Tubería /gravedad	2	75	0,19		0,001	0,50	1,95	0,02	0,03
FCA BYPASS	Tubería /gravedad	4	75	0,19		0,002	0,50	1,1	0,01	0,02

Sección	Tipo/escurrimiento	Largo(m)	Caudal máximo registrado (m ³ /h)	Diámetro (m)	Tirante (m)	hf continua (m)	Velocidad (m/s)	Σk	hf local	hf total
CM1	Tubería /gravedad	15	75	0,19		0,008	0,50	0	0,00	0,01
CM2	Tubería /gravedad	2696	75	0,19		1,383	0,50	0	0,00	1,38
LS1	Tubería	84	0,0011	0,16		0,079	0,61	1,4	0,03	0,11
LS2-1	Tubería	22	0,00055	0,16		0,021	0,61	0,4	0,01	0,03
LS2-2	Tubería	57	0,00055	0,16		0,053	0,61	0,4	0,01	0,06

4.1.3.4 Cota de agua en las unidades

Para favorecer el escurrimiento en el sentido deseado dentro de la planta de tratamiento es necesario establecer la altura del agua en cada una de las unidades operativas teniendo en cuenta las pérdidas de carga continuas y locales a lo largo de todas las secciones de tuberías, como se aprecia en la Figura 33.

Para establecer la línea piezométrica del efluente de planta en cada una de las unidades, se toma como cota cero del terreno los 210m de altura sobre el nivel del mar, teniendo en cuenta que el líquido ingresa a la primera sección de tubería con una altura manométrica de 2m y que la descarga en el Río Cuarto es a -6 m.

Para este cálculo se utiliza como insumo la Tabla XXVI donde se especifican las pérdidas de carga en cada tramo de tubería, para asegurarse el correcto escurrimiento del líquido, se toma el camino de mayor pérdida de carga entre cada unidad operativa.

Luego de la Bomba 2 que entregará 1,5 bares mca para el correcto funcionamiento de los FCA (según especifica el fabricante), el agua circulará nuevamente por acción de la gravedad desde los filtros pasando por la cámara de muestras, hasta el cuerpo receptor o el proceso productivo, en caso de que se produzca la segunda situación se prevé elevar la cámara de muestras, para favorecer el escurrimiento por gravedad hasta la planta.

Es importante destacar que todas las estructuras se encuentran por encima del nivel de la napa registrada en los últimos años como se muestra en la Figura 44 de la sección denominada "Aguas subterráneas".

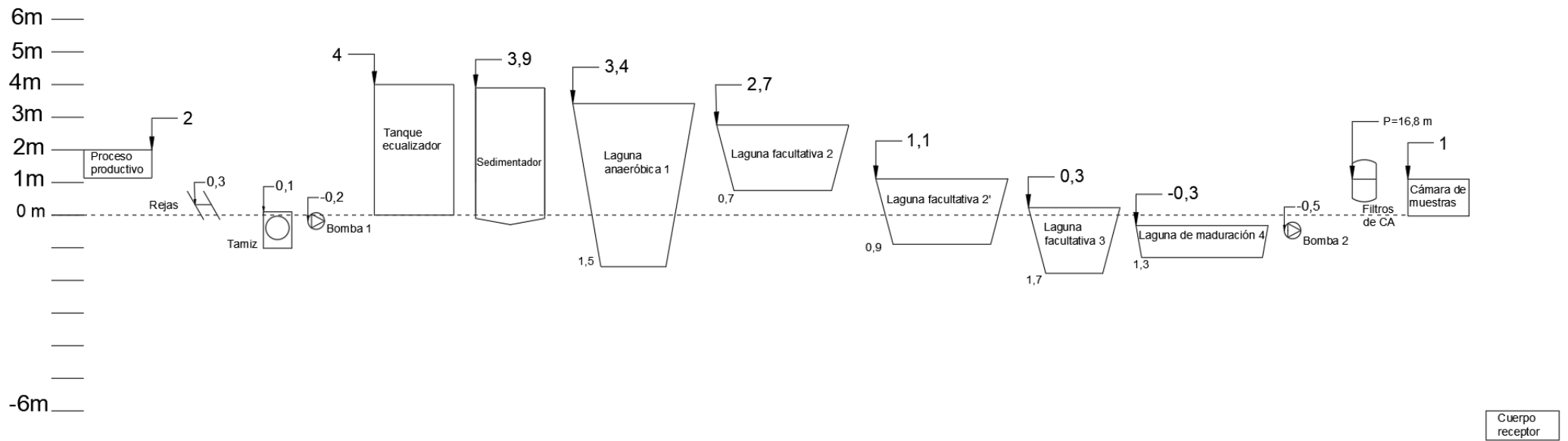


Figura 33. Altura del líquido en cada una de las unidades operativas de la planta desde el proceso productivo hasta el cuerpo receptor

4.1.3.5 Sistema de impulsión

En esta sección se diseñarán los 2 sistemas de impulsión de la planta de tratamiento de efluentes, siendo el primero ubicado luego de los tamices y el segundo luego de la laguna de estabilización. La bomba de la draga que retira los lodos de la laguna se encuentra descripta en la sección 4.6.

Como se mencionó, para aportar energía al sistema se instalará un sistema de impulsión a continuación del tamizado para facilitar el llenado del tanque de homogeneización y que las unidades subsiguientes operen por acción de la gravedad con el fin de evitar gastos innecesarios en bombeo. Teniendo en cuenta la posibilidad de variación del caudal de ingreso se colocarán dos bombas que operarán en paralelo en condiciones de caudal punta para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de conducción.

Al aplicar la ecuación de la energía entre el tamiz y el ecualizador se llega a la siguiente relación:

$$\frac{V_t^2}{2g} + H_t + \frac{P_t}{\rho g} - h_f + h_{B1} = H_e + \frac{V_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\rho g} \quad (105)$$

V_t = velocidad del líquido en el tamiz, m/s

H_t = altura del tamiz respecto a la bomba, 0,3 m

P_t = presión del líquido en el tamiz, Pa

h_f = altura de fricción entre ambas unidades, 1,24 m

h_{B1} = altura suministrada por la bomba, m

H_e = altura del ecualizador respecto a la bomba, 5,2 m

V_e = velocidad del líquido en el ecualizador, m/s

P_e = presión del líquido en el ecualizador, Pa

Teniendo en cuenta que en ambos puntos el líquido está en contacto con la atmósfera y que la velocidad del mismo es cero se obtiene la siguiente ecuación:

$$h_{B1} = H_e - H_t + h_f \quad (106)$$

Considerando la pérdida de carga en cada una de las secciones involucradas, se determina la altura a desarrollar por la bomba, que es de 5,14 m. Para estimar la potencia real de la bomba se utilizan la relación que se encuentran a continuación:

$$P_{B1} = \frac{h_{B1} g \gamma Q}{\eta} \quad (107)$$

P_{B1} = potencia de la bomba 1, W

γ = peso específico del líquido, 9682 N/m³ a 50°C

η = eficiencia de la bomba, 60 %

Q = caudal bombeado, 102 m³/h

Considerando que se colocarán dos bombas en paralelo, con un caudal de circulación máximo de 102 m³/h, la potencia teórica necesaria de cada una es de 23,5 kW. Las mismas

son aptas para líquidos calientes y con presencia de sólidos en suspensión. En condiciones de caudal medio operará una sola bomba y para caudal pico, se accionarán las dos bombas, las mismas serán de la marca Tsurumi, modelo 100BZ411 (Anexo: Figura 64) con una capacidad de elevar el líquido a 10 m impulsando un caudal de 102 m³/h con una potencia de 9 kW (60 % eficiencia)

El segundo sistema de impulsión se colocará luego de la laguna maduración y tendrá que entregar como mínimo 1,5 bares para garantizar el correcto funcionamiento de los filtros de carbón activado, por lo tanto, la ecuación (107) se modifica a:

$$H_{LG4} - h_f + h_{B2} = H_{FCA} + \frac{V_{FCA}^2}{2g} + \frac{P_{FCA}}{\rho g} \quad (108)$$

H_{LG4} = altura de la laguna de maduración respecto a la bomba, 0,2 m

h_f = altura de fricción entre ambas unidades, 1,12 m

h_{B2} = altura suministrada por la bomba, m

H_{FCA} = altura de los filtros de carbón activado, 1,5 m

V_{FCA} = velocidad del líquido en los filtros de carbón activado, 0,72 m/s

P_{FCA} = presión del líquido en el equalizador, $1,5 \cdot 10^5$ Pa

ρ = densidad del líquido a 20°C, 998,29 kg/m³

La altura mínima que debe entregar la Bomba 2 es de 17,8 m con una potencia teórica de 87 kW, para cumplir con estos requerimientos se colocarán dos bombas Tsurumi modelo 100C222, que son capaces de desarrollar una altura de 25 m a 75 m³/h con un consumo de 21 kW (Anexo: Figura 65), con un 40 % de eficiencia, una funcionará como backup.

Para determinar las características de la bomba que impulsará los lodos del sedimentador hacia los lechos de secado se utiliza nuevamente la ecuación de la energía, considerando que los lodos se encuentran bajo 3 metros de columna de agua, despreciando su velocidad de escurrimiento. En los lechos de secado la velocidad de flujo es cero y el líquido se encuentra a presión atmosférica.

$$H_l + \frac{P_l}{\rho g} - h_f + h_{B3} = H_{ls} \quad (109)$$

H_l = altura de los lodos respecto a la bomba, 0,9 m

P_l = presión del líquido en el sedimentador, $2,9 \cdot 10^{-4}$ Pa

h_f = altura de fricción entre ambas unidades, 2,48 m

h_{B3} = altura suministrada por la bomba 3, m

H_{ls} = altura de los lechos de secado respecto a la bomba, 0 m

ρ = densidad de los lodos, 1006 kg/m³

La altura de la bomba 3 es -1,4 m, por lo tanto, es innecesario colocar una bomba de impulsión ya que los lodos pueden escurrir por gravedad hacia los lechos de secado.

Para determinar las dimensiones que deberá tener la bomba que impulse los lixiviados de los lechos de secado hacia la laguna anaeróbica se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_{ls} - h_f + h_{B2} = H_{LG1} \quad (110)$$

H_{LG1} = altura del líquido en la laguna anaeróbica, 0,9 m

h_f = altura de fricción entre ambas unidades, 0,19 m

h_{B3} = altura suministrada por la bomba 4, m

H_{ls} = altura de los lechos de secado respecto a la bomba, 0,1 m

La altura a desarrollar por parte de la bomba es de aproximadamente 3,5 m, para cumplir esta exigencia se colocará una bomba Tsurumi 50UT2.4S, capaz de impulsar 2 m³/h a 5m con un consumo de 0,35 kW (Figura 66), se compararán dos bombas para reservar una como backup.

4.1.4 Tanque de homogeneización

La planta de CORNOL se encuentra operativa las 24 horas del día durante todos los días del año, ya que como se mencionó con anterioridad el proceso de fermentación es continuo y no es factible detenerlo, iniciándose un nuevo ciclo productivo cada 9 horas aproximadamente.

Como no se cuenta con el valor de los caudales horarios que se generan en planta, se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar el volumen necesario de un ecualizador que permita proveer un caudal estable a las operaciones subsiguientes (Rodríguez Gil, 2006). Las variables se presentan en la

Tabla XXVII, junto con el valor del volumen obtenido para el tanque.

Inicialmente se determina el tiempo, t, durante las aportaciones máximas:

$$t = \frac{Q_{medio}T - Q_{min}T}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (111)$$

t = tiempo durante el caudal máximo, h

Q_{medio} = caudal medio o de diseño, m³/h

Q_{max} = caudal máximo, m³/h

Q_{min} = caudal mínimo, m³/h

T = tiempo de un ciclo productivo, h

El volumen del tanque ecualizador es el exceso del volumen aportado durante el caudal máximo, éste se le agrega un 20% como rango de seguridad.

$$V = (Q_{max} - Q_{min}) t 1,2 \quad (112)$$

V = volumen del tanque de homogeneización, m³

Tabla XXVII. Parámetros utilizados para la determinación del volumen del tanque de equalización.

Parámetro	Valor
<i>Caudal medio (m3/h)</i>	75
<i>Caudal máximo (m3/h)</i>	204
<i>Caudal mínimo (m3/h)</i>	44
<i>Tiempo de un ciclo productivo (h)</i>	9
<i>Tiempo durante el caudal máximo (h)</i>	1,74
<i>Volumen (m3)</i>	289

El tanque será de hormigón y tendrá forma cúbica, con una profundidad de 4,8 metros y lados de 8,5 metros, el área que ocupará en planta será de 72 m².

Para garantizar el mezclado se colocarán difusores de burbuja gruesa, a continuación, se determina la cantidad, teniendo en cuenta que un tanque de homogeneización requiere 3,74 m³ aire/m³ reactor (Tchobanoglous & Burton, 1995).

$$Q_{\text{aire}} = V \cdot 3,74 \frac{\text{m}^3 \text{aire}}{\text{m}^3 \text{reactor}} \quad (113)$$

Para suministrar los 1011 m³ de aire por hora que requiere el reactor se colocarán difusores marca REPICKY modelo CB-300 (Anexo: Figura 67) que poseen un caudal de diseño de 10 m³/h, por lo tanto, mediante la siguiente ecuación se determina el número necesario de difusores.

$$N^{\circ} \text{difusores} = \frac{Q_{\text{aire}}}{10 \text{ m}^3 \frac{\text{aire}}{\text{h difusor}}} \quad (114)$$

A su vez, para dotar de aire a los 100 difusores se colocará un soplador REPICKY modelo R 2.0 de 6 KW (Anexo: Figura 68), teniendo otro similar como back up. Con este arreglo se tiene una densidad 1,5 difusores por metro cuadrado del equalizador.

4.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario del efluente consistirá en un sedimentador circular que permitirá una eliminación parcial tanto de los sólidos en suspensión como de la carga orgánica del efluente, se estima que la misma será de un 60% y un 25% respectivamente (Ramalho, 1993).

4.2.1 Sedimentador

A continuación, se diseña un sedimentador circular (Tabla XXVIII) para lograr la remoción de los sólidos suspendidos del efluente de planta como también reducir la carga orgánica del

mismo. Como puente barredor para esta unidad se utilizará uno de la marca INGECOL S.R.L de accionamiento periférico con un motor de 0,75 kW, que le otorga una velocidad de rotación al puente de 0.9 m/min aproximadamente.

Dentro del sedimentador se busca que la velocidad de sedimentación de las partículas que acarrea el efluente sea mayor a la velocidad de sedimentación crítica de las mismas, siendo ésta la carga superficial.

$$C_s = \frac{Q}{A} \quad (115)$$

C_s = carga superficial, $m^3 / m^2 d$

Q = caudal, m^3/d

A = área superficial, m^2

Adoptando una carga superficial de $80 m^3 / m^2 d$, según bibliografía, se obtiene el área superficial del decantador. A partir de la siguiente ecuación y fijando un tiempo de permanencia de 1,5 horas, se extrae el volumen.

$$t_p = \frac{V}{Q} \quad (116)$$

t_p = tiempo de permanencia, h

V = volumen del sedimentador, m^3

Por último, se determina la altura del sedimentador que no debe exceder los 5 metros por cuestiones constructivas. La altura del sedimentador no tiene en cuenta el área de sedimentación de los lodos.

$$h = \frac{V}{A} \quad (117)$$

h = altura del sedimentador, m

Tabla XXVIII. Características principales del sedimentador.

Parámetro	Valor
<i>Carga superficial (m³/m² d)</i>	80
<i>Caudal (m³/h)</i>	75
<i>Área superficial (m²)</i>	22,5
<i>Volumen sedimentador (m³)</i>	90
<i>Altura sedimentador (m)</i>	4
<i>Tiempo de permanencia (h)</i>	1,2

4.2.1.1 Zona de entrada

La entrada del líquido al sedimentador se realizará por el centro del mismo, donde la tubería de ingreso estará recubierta de hormigón, una campana circular distribuirá el líquido uniformemente en todas las direcciones para evitar zonas muertas.

A continuación, se determina el perímetro y el radio del tanque circular para diseñar la campana interior.

$$r = \sqrt{A/\pi} \quad (118)$$

$$P = 2\pi r \quad (119)$$

r = radio del sedimentador, m

P = perímetro del sedimentador, m

La campana interior tendrá un 15% del diámetro total del tanque y se colocará a una profundidad de 1 metro respecto del pelo de agua.

Tabla XIX. Características del diseño de la zona de entrada al sedimentador.

Parámetro	Valor
Diámetro (m)	5,4
Perímetro (m)	16,8
Radio (m)	2,68
Diámetro campana de ingreso (m)	0,8

4.2.1.2 Zona de salida

La zona de salida del decantador será periférica y estará compuesta por deflectores de sección triangular tipo Thomson (Figura 34) que tienen como objetivo reducir las turbulencias del líquido y por consiguiente los sólidos en suspensión del mismo.

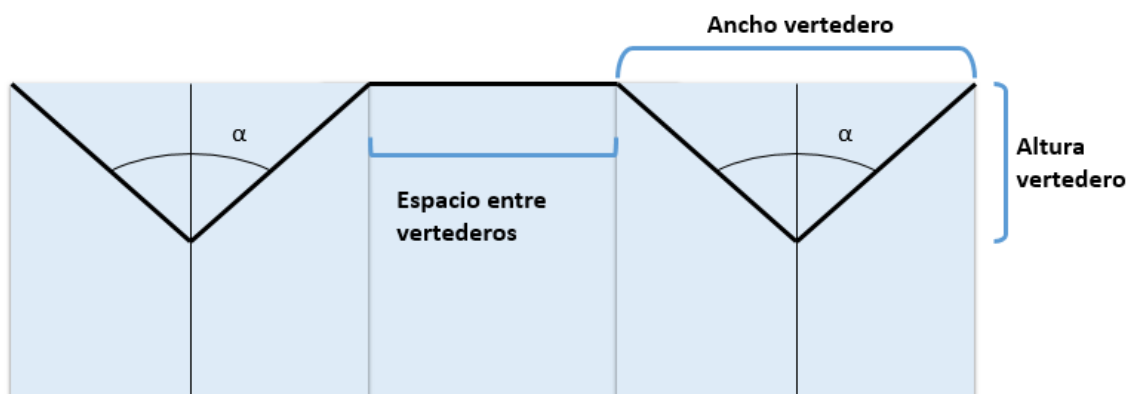


Figura 34. Verederos tipo Thomson en la zona de salida.

Fijando una altura del vertedero de 7 cm, se estima el ancho del vertedero mediante la siguiente ecuación:

$$a_v = 2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) h_v \quad (120)$$

a_v = ancho del vertedero, m
 h_v = altura del vertedero, m
 α = ángulo del vertedero, rad

A continuación, se determina el caudal que evacúa cada una de las ranuras, para luego determinar el número total de vertederos.

$$q_v = 1,34 h_v^{2,47} \quad (121)$$

q_v = caudal por vertedero, m³/s

$$N^\circ \text{ vertederos} = \frac{Q}{q_v} \quad (122)$$

Finalmente, se extrae el espacio entre vertederos de la ecuación ulterior:

$$e_v = \frac{P - (a_v N^\circ \text{ vertederos})}{(N^\circ \text{ vertederos} + 1)} \quad (123)$$

e_v = espacio entre vertederos, m

Si para la canaleta de recolección se fija una velocidad del líquido de 0,03 m/s y una altura de 2 m para el tirante de la canaleta, se determinan el área y ancho de la misma.

$$A_c = \frac{Q h}{V_c 3600 s} \quad (124)$$

A_c = área de la canaleta, m²
 V_c = velocidad en la canaleta, m/s

$$a_c = \frac{A_c}{h_c} \quad (125)$$

a_c = ancho de la canaleta, m

Tabla XXIX. Parámetro de diseño de la zona de salida del sedimentador. Se agregó un factor de seguridad del 20% a la altura del vertedero.

Parámetro	Valor
Caudal por vertedero (m ³ /s)	0,002
Altura del vertedero (m)	0,084

<i>Número de vertederos</i>	11
<i>Ángulo ranura vertedero (°)</i>	90
<i>Ancho del vertedero (m)</i>	0,168
<i>Espacio entre vertederos (m)</i>	1,24
<i>Área de la canaleta (m²)</i>	0,69
<i>Ancho de la canaleta (m)</i>	0,35

Teniendo en cuenta los porcentajes de remoción de materia orgánica (25%), sólidos suspendidos (60%) y nitrógeno total (10%) se obtendrá una concentración final de 985 mg/l de DBO, 204 mg/l de sólidos suspendidos y 98 mg/l de nitrógeno total.

4.2.1.3 Zona de barros

La zona de barros del sedimentador poseerá una forma de cono invertido con una pendiente de 1/12 para favorecer la descarga de los barros en la tobera, a su vez, el puente cuenta con un barredor circular que removerá el barro hacia el centro (Figura 17), allí los mismos serán bombeados y extraídos de la unidad.

Por sobre el pelo del agua existirán rascadores para remover las espumas que son recogidas mediante un sumidero.

Para estimar la producción de lodos del sedimentador se utiliza las siguientes ecuaciones suponiendo un rendimiento en la remoción de los sólidos suspendidos del 60%. Inicialmente se calculan los sólidos secos eliminados durante un día de operación, teniendo en cuenta que los sólidos suspendidos provenientes del cribado son 510 g/m³

$$\text{sólidos secos} = \frac{0,6 Q S_s \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \quad (126)$$

Q = caudal diario, m³

S_s = sólidos suspendidos del afluente, g/m³

Por último, se determina el volumen de lodos adoptando un peso específico de 1,03 y un 6% de proporción de sólidos.

$$\text{volumen lodos} = \frac{\text{sólidos secos}}{1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 0,06} \quad (127)$$

El volumen de lodos obtenido es de 9 m³ por día, el mismo discurre por gravedad hacia los lechos de secado.

4.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en una serie de lagunas (Figura 35) con la función principal de estabilizar la materia orgánica presente en el efluente de planta. El movimiento del líquido a través de la misma será por acción de la gravedad para evitar gastos innecesarios en sistemas de impulsión entre las lagunas.

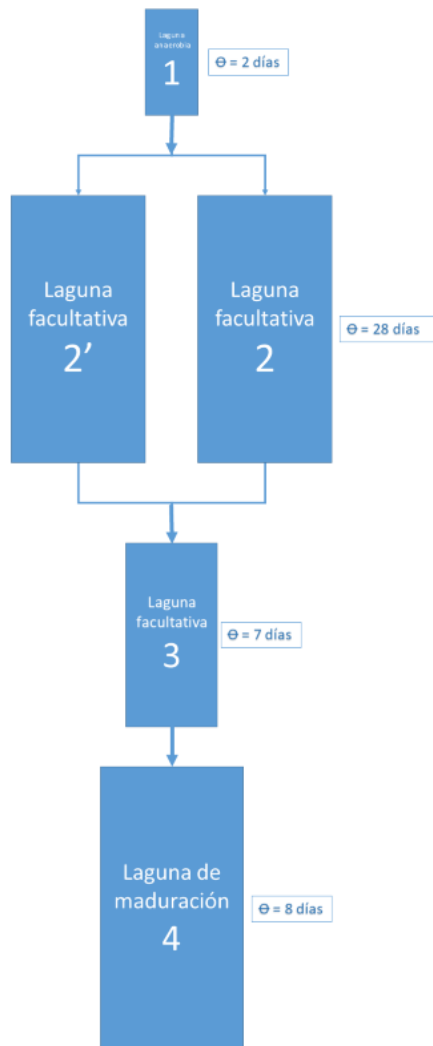


Figura 35. Esquema de tratamiento secundario propuesta con relaciones proporcionales en el tamaño de las lagunas.

Muchos parámetros de diseño y características de las lagunas ya han sido descritos en la sección “Alternativa A: Sistema de lagunas de estabilización”.

Para garantizar que el sistema de lagunas mantenga un nivel de líquido adecuado se efectúa un balance hídrico según la siguiente ecuación.

$$Q \geq 0,001 A_T [(P - E) + I] \quad (128)$$

Q = caudal, m³/día

A_T = área total de las lagunas, m²

P = precipitación media mensual convertida a media diaria, mm/día

E = evapotranspiración media mensual convertida a media diaria, mm/día

I = tasa de infiltración, mm/día

Los datos de la precipitación media mensual y la evapotranspiración media mensual han sido extraídos de los “Boletines Agrometeorológicos” de la E.E. Marcos Juárez del INTA, por su parte el registro de la tasa de infiltración fue extraído del informe “Parámetros de modelos de infiltración en suelos de la Ciudad de Córdoba” realizado por Juan Weber y Laureana Apestegui.

Luego de aplicar la ecuación (128) para todos los meses del año, se determina que la desigualdad no se cumple en ningún caso, lo que indica que debe colocarse una superficie aislante para evitar la infiltración en el suelo. La misma estará compuesta por una capa inferior de 20 cm de arcilla y una superior de 15 cm de arena, este recubrimiento será aplicado a todas las lagunas, tanto en fondo como en los taludes interiores (Oakley, 2005). Únicamente la laguna anaeróbica poseerá una geomembrana debido a la elevada carga orgánica del efluente (394 mg/l DBO), teniendo en cuenta los valores mencionados por la Autoridad del Agua para absorción por el suelo en lagunas facultativas (DBO ≤ 200 mg/l) se evita la colocación en las lagunas subsiguientes (Resolución N° 336/2003).

Previo al ingreso a las lagunas se colocará un canal de desvío que servirá de by pass para evitar el tren de tratamiento en caso de lluvias extraordinarias, de esta forma se evita la inundación de las lagunas y la alteración de los procesos biológicos.

Todas las lagunas tendrán entradas y salidas múltiples (excepto la laguna de maduración), las mismas serán con canales abiertos y el agua del canal tendrá la misma altura que el líquido dentro de la laguna para evitar la turbulencia que producen las descargas libres y las zonas muertas dentro de la laguna, a su vez contarán con canaletas Parshall para la medición del caudal. Las lagunas con entradas múltiples poseerán distribuidores de caudales ajustables para permitir a los operadores realizar un ajuste fino de cada entrada.

Las salidas de las lagunas tendrán compuertas de fondo ajustables para evitar el paso de espumas o algas y luego un vertedero triangular para regular el caudal como se muestra en la Figura 36.

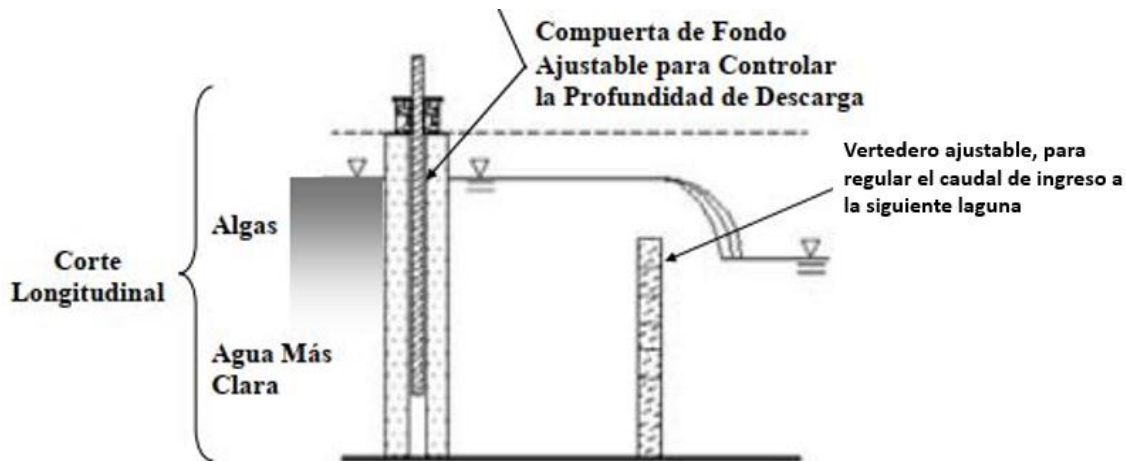


Figura 36. Estructura de salida de las lagunas compuesta por una compuerta de fondo y un vertedero ajustable. Fuente: Oakley, 2005

4.3.1 Laguna anaeróbica

La primera laguna del tren de tratamiento propuesto es anaeróbica, cuyos objetivos son remover un porcentaje de la carga orgánica y la mayoría de los sólidos suspendidos presentes en el afluente bajo condiciones anaeróbicas. Colocar esta laguna en el principio del sistema permite reducir considerablemente el tamaño de los estanques subsiguientes (Oakley, 2005).

La laguna anaeróbica tendrá unos taludes internos con una relación de 3:1, será de forma tronco piramidal, y se diseña según las ecuaciones (17) a (22), obteniéndose las dimensiones de la Tabla XXX.

Tabla XXX. Dimensiones de la laguna aeróbica.

Tronco piramidal	Relación 3:1
Ancho (m)	47
Largo (m)	78
Área superficial (m ²)	3648
Área inferior (m ²)	802
Volumen tronco piramidal (m ³)	10267

En la superficie de la laguna se espera la formación de nata que facilitará la conservación de las condiciones anaeróbicas dentro de la laguna por impedir la reaireación por parte del viento. Los sólidos suspendidos removidos por laguna (60%) precipitan y se acumulan en el fondo de la misma, allí son digeridos disminuyendo su volumen, los gases liberados durante el proceso ascienden a la superficie arrastrando restos de lodo conformando así la espuma.

Los taludes interiores contarán con un recubrimiento de hormigón en el borde libre de la laguna, el mismo se calcula con la siguiente ecuación.

$$F = (\log A_{sup})^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (129)$$

F = borde libre, m

A_{sup} = área superior de la laguna, m²

El borde libre para esta laguna es de 90 cm, es decir que bajo condiciones normales el pelo de agua cubrirá 40 cm del parche de hormigón. El recubrimiento tiene como funciones evitar la erosión del talud interno como producto de las olas durante los vientos fuertes y el crecimiento de vegetación sobre el mismo.

Esta será la única laguna que contará con una impermeabilización adicional que constará de una geomembrana de Polietileno (HDPE) de 1,5 mm, que será colocada por sobre las capas de arcilla y arena.

Se consideró una remoción del 10% del nitrógeno total en la laguna anaeróbica, que se atribuye a la captación por parte de los microorganismos y su posterior sedimentación. El lecho de la laguna también funciona como sumidero del fósforo total y la asimilación por parte de las bacterias es otro mecanismo por el cual este parámetro se reduce hasta en un 50% (Reddy & Reddy, 1993).

El efluente de la laguna anaeróbica ingresará a las lagunas facultativas con los parámetros que se encuentran en la Tabla XXXI.

Tabla XXXI. Parámetros del efluente de la laguna anaeróbica, para aquellos parámetros más repetitivos

Parámetro	Valor
Temperatura (°C) I-V	31-41
pH	9
DQO (mg/l)	1329
DBO (mg/l)	394,2
Sólidos suspendidos (mg/l)	81,6
Nitrógeno total (mg/l)	98,64
Fósforo total (mg/l)	0,75

4.3.2 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas están compuestas por dos zonas, una anaeróbica en el estrato inferior y una aeróbica en el estrato superior, donde las algas y las bacterias son simbioses. La oxigenación de la laguna se lleva a cabo mediante la fotosíntesis que realizan las algas en las capas superficiales del estanque y mediante la acción de los vientos. El oxígeno disuelto dentro de la laguna varía durante el día alcanzando un máximo al mediodía durante el pico de la actividad fotosintética, por su parte, el pH, puede alcanzar valores de 9 o 10 como producto

de la liberación de iones hidroxilo en la reacción de bicarbonato y carbonato para suministrar de dióxido de carbono a las algas (Kayombo, Mbwette, Katima, Ladegaard, & Jørgensen, 2004).

Previo al ingreso del fluido en las lagunas facultativas en paralelo, se colocará un dispositivo de repartición con caudales ajustables para establecer una descarga similar en ambas lagunas y evitar problemas de sobrecarga en las mismas.

Como se especificó en la sección “Lagunas facultativas”, las mismas tendrán taludes con una relación 3:1, los estanques en paralelo serán idénticos y con las dimensiones que se encuentra en la Tabla XXXII.

Tabla XXXII. Dimensiones principales de las lagunas facultativas.

Relación 3:1	Lagunas en paralelo (2-2')	Laguna 3
Ancho (m)	86	60
Largo (m)	166	114
Área superficial (m ²)	14165	6925
Área inferior (m ²)	11297	4968
Volumen tronco piramidal (m ³)	25409	11839

El borde libre en las lagunas se calcula mediante la ecuación (129), siendo éste de un metro para las 3 lagunas.

A pesar de no contar con el dato de la presencia de coliformes totales se establece el valor sugerido por bibliografía de 10⁻⁸ NMP/100ml extraído de bibliografía (Tchobanoglous & Burton, 1995). Asumiendo una tasa de mortalidad de coliformes de primer orden se obtiene:

$$\ln \left[\frac{N}{N_0} \right] = -k_b \theta \quad (130)$$

N = concentración final de coliformes fecales, NMP/100ml

N₀ = concentración inicial de coliformes fecales, NMP/100ml

k_b = constante de remoción de primero orden, d⁻¹

Siendo la constante de remoción de primer orden para lagunas facultativas:

$$k_b = 0,477 \ 1,18^{T-20} \quad (131)$$

T = temperatura del líquido en condiciones de invierno, °C

La remoción de fósforo total en las lagunas facultativas no se encuentra modelada matemáticamente como es el caso del nitrógeno total; se han registrado remociones del 45% en condiciones de baja temperatura y del 60% en a altas temperaturas, siendo la adsorción en los sedimentos la principal vía de remoción (Mbwele, 2006).

El efluente de las lagunas en paralelo y de la laguna 3, también facultativa, se encuentra en la siguiente tabla (Tabla XXXIII).

Tabla XXXIII. Parámetros del efluente de las lagunas facultativas.

Parámetro	Lagunas en paralelo (2-2')	Laguna 3
<i>Temperatura (°C) I-V</i>	14-33	11-31
<i>pH</i>	9	9
<i>DQO (mg/l)</i>	318	76
<i>DBO (mg/l)</i>	92	22
<i>Sólidos suspendidos (mg/l)</i>	50	50
<i>Nitrógeno total (mg/l)</i>	40	19
<i>Fósforo total (mg/l)</i>	0,5	0,31
<i>Coliformes totales (NMP/100ml)</i>	5,00E+05	2,32E+05

4.3.3 Laguna de maduración

Los propósitos de construcción de la laguna de maduración consisten en tener un mayor tiempo de retención hidráulico para la remoción de organismos patógenos, mejorar la calidad del efluente final y servir como un factor de seguridad en caso de que exista algún problema operativo con las lagunas restantes o éstas estén en mantenimiento.

Para el caso de la laguna diseñada se estableció, al igual que para el resto de las lagunas, una relación de 3 a 1 para los taludes internos con un borde libre de 1 metro recubierto de hormigón. Las principales dimensiones de la laguna se pueden observar en la Tabla XXXIV que se encuentra a continuación.

Tabla XXXIV. Dimensiones de la laguna de maduración.

Tronco piramidal	Relación 3:1
<i>Ancho (m)</i>	88
<i>Largo (m)</i>	173
<i>Área superficial (m²)</i>	15173
<i>Área inferior (m²)</i>	13645
<i>Volumen tronco piramidal (m³)</i>	14402

La laguna de maduración contará con una sola entrada y una sola salida y se colocarán mamparas transversales, éstas mejorarán el régimen hidráulico y aproximarán el flujo a uno de tipo pistón dentro de la laguna, favoreciendo la remoción de patógenos y la estabilización de la materia orgánica. Las mamparas de hormigón se encontrarán por debajo del nivel del agua y serán un total de 5 con un largo de 30 metros aproximadamente (Figura 37).

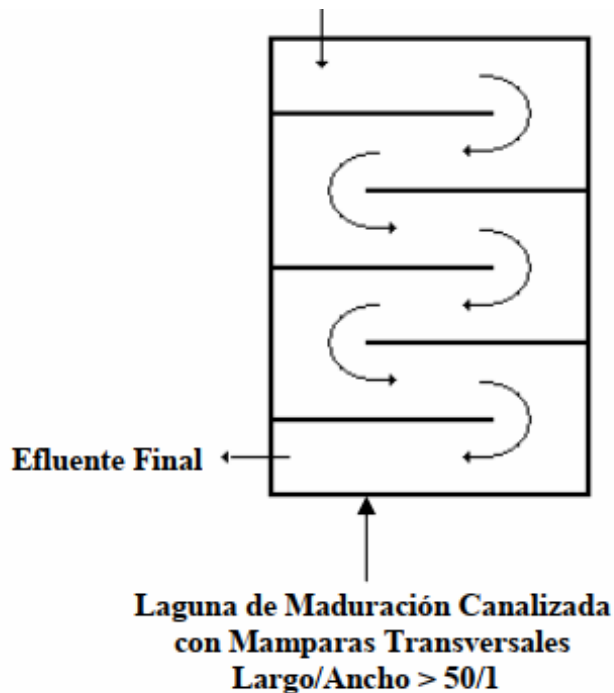


Figura 37. Vista de planta de la laguna de maduración con mamparas para aumentar su relación largo/ancho. Fuente: Oakley, 2005

El desarrollo de un flujo pistón dentro de la laguna favorecerá la sedimentación dentro del estanque alcanzándose valores dentro de lo exigido por la normativa, en cuanto a la remoción de nitrógeno, existe una alta tasa de nitrificación debido a la presencia de oxígeno en la laguna (Mayo & Abbas, 2014), pero no se han registrado remociones mayores al 8% del nitrógeno total en estos espejos de agua (Camargo Valero & Mara, 2007).

Tabla XXXV. Parámetros del efluente de la laguna de maduración.

Parámetro	Valor
Temperatura (°C) I-V	10-31
pH	8
DQO (mg/l)	70
DBO (mg/l)	9
Sólidos suspendidos (mg/l)	20

<i>Nitrógeno total (mg/l)</i>	18
<i>Fósforo total (mg/l)</i>	0,2
<i>Coliformes totales (NMP/100ml)</i>	1656

4.4 Filtros de carbón activado

Los filtros de carbón activado se colocarán a continuación de la laguna de maduración con el objetivo de reducir la concentración de nitrógeno total que posee el efluente, en este caso se supone que un 80% de la concentración de este parámetro corresponde al ion nitrato por la carga que éste representa en el nitrógeno total inicial (50%) y por qué los mecanismos de remoción del mismo son menores a los de reducción del nitrógeno orgánico y amoniacal (Mayo & Abbas, 2014) (Reed, 1985).

Como se mencionó con anterioridad en la sección 3.4.2, los filtros de carbono reducen entre un 56% y un 67% la concentración de nitrato en el agua y se han registrado valores de reducción del 40% para el fósforo total (Ouakouak & Leila, 2016).

Se colocarán 4 filtros de carbón activado granular de la marca IMA Water, modelo DEC/M-1600 (Anexo: Figura 69), que poseen un caudal pico de 27 m³/h. Los mismos, se encuentran programados para realizar retrolavados periódicos con el agua filtrada para aumentar la vida útil del carbón activado. Uno de los 4 filtros permanecerá como backup y se utilizará en caso de que alguno de los restantes se encuentre bajo mantenimiento.

Como se mencionó en la sección “Sistema de impulsión”, se colocarán dos bombas Tsurumi modelo 100C222, que serán capaces de desarrollar una altura de 25 m a 75 m³/h con un consumo de 21 kW (Anexo: Figura 65), con un 40 % de eficiencia, una funcionará como backup.

Teniendo en cuenta que el pH puede elevarse luego de la aplicación de carbón activado (Farmer, Kovacic, & Dussert, 1996), se inyectará dióxido de carbono a las cañerías mediante la tecnología SOLVOCARB-D, de la marca Linde para reducir el pH. Esta tecnología es más eficiente ya que evita la sobreacidificación como puede ocurrir cuando se utilizan ácidos fuertes como como clorhídrico y sulfúrico, permitiendo controlar la neutralización del líquido (Anexo: Figura 51). A su vez, al ser menos corrosivo que los ácidos mencionados, las instalaciones requieren menos mantenimiento que en el caso de emplear ácidos fuertes. Para reducir los costos operativos será posible utilizar el CO₂ liberado durante la fermentación. Para reducir el pH del efluente de los filtros de carbón activado se necesitará un total de 0,4 kg CO₂ /h aproximadamente según informa el fabricante para alcanzar un pH entre 8 y 8,5.

4.4.1 Perdida de carga en los filtros de carbón activado

Teniendo en cuenta que el fabricante no dispone la pérdida de carga en los equipos de filtración de carbón activado se utilizará la ecuación de Fair y Hatch para granos no esféricos y diámetro uniforme (Galarza Arévalo & Valenzuela Torres, 2013).

$$hf_{ca} = \frac{fL\gamma v(1-P)^2}{P^3 g} \left(\frac{6}{C_E D_C} \right)^2 \quad (132)$$

hf_{ca} = pérdida de carga en filtro de carbón activado, m

f = coeficiente de Kozeny, 5

L = altura del lecho, 2,2 m

γ = viscosidad cinemática, $1,02 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

P = porosidad, 0,48

C_E = coeficiente de esfericidad, 0,7

D_C = diámetro de las esferas, 0,007 m

v = velocidad de filtración, $8,33 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

La pérdida de carga en cada uno de los filtros de carbón activado resulta ser de 0,035 m. Las pérdidas de carga asociadas a las conducciones que poseen cada uno de los filtros para reducir la velocidad del líquido, como para efectuar los retrolavados no son tenidas en cuenta.

4.5 Conclusiones

En este apartado se analiza el efluente final obtenido luego de ser tratado por el tren de tratamiento propuesto.

En la Figura 38 que se encuentra a continuación, se pueden apreciar los valores de los parámetros que se encontraban fuera de norma en el efluente inicial y cómo estos disminuyen a lo largo del tren de tratamiento según el líquido recorre las distintas unidades operativas.

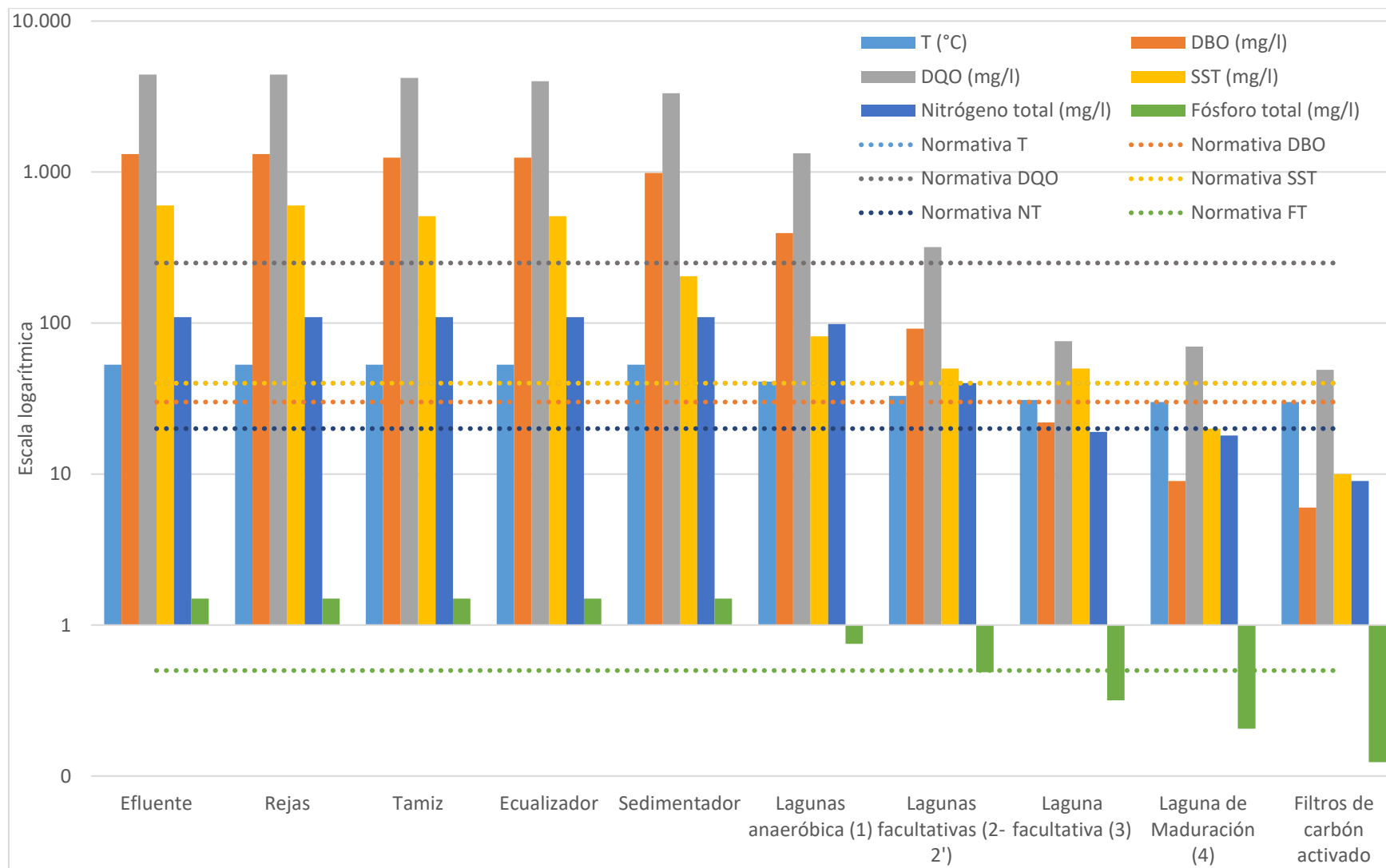


Figura 38. Parámetros fuera de norma en el efluente inicial y sus distintos valores a lo largo del tren de tratamiento.

La materia orgánica, medidas en términos de DBO y DQO, obtenida para el efluente final registra una reducción del 99% en ambos casos, suponiendo que la relación DBO/DQO se mantiene constante, la mayor reducción de este parámetro se obtiene en las lagunas de estabilización.

En el caso de los sólidos suspendidos existe una remoción total del 98%, obteniéndose la máxima reducción en el sedimentador primario seguido de la laguna anaeróbica. La disminución de ambos parámetros permite la colocación de los filtros de carbón activado, evitando que este se sature.

La disminución del nitrógeno Kjeldahl es del 92% y la del nitrato es del 86%, siendo las lagunas facultativas las responsables de la mayor reducción de ambos parámetros asociados a la concentración de nitrógeno, por su parte, el fósforo total es removido en un 92% aproximadamente, éste se debe principalmente a las lagunas facultativas y a los filtros de carbón activado.

Tabla XXXVI. Parámetros del efluente final que excedían la normativa antes del tratamiento.

Parámetros	Valor	Límite permitido (Decreto 847/16)
<i>Temperatura (°C)</i>	30	≤ 40
<i>pH</i>	8-8,5	6-9
<i>DBO (mg O₂/l)</i>	6	≤30
<i>DQO (mg O₂/l)</i>	49	≤250
<i>Sólidos suspendidos (mg/l)</i>	10	≤40
<i>Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)</i>	3	≤10
<i>Fósforo total (mg/l)</i>	0,12	≤0,5
<i>Nitrato</i>	6	≤ 10

Este efluente será volcado finalmente al Río Cuarto, aunque debería considerarse la posibilidad de reutilización del mismo como agua de proceso teniendo en cuenta las características que presenta. Sería necesario establecer una comparación entre el agua extraída de pozo y el efluente final obtenido antes de que ingresen en los procesos de filtrado culminando en el de ósmosis inversa. Para dicha reutilización sería necesario consultar a la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación para que apruebe ese accionar.

Es importante destacar que el efluente cumple los estándares establecidos por el Decreto 847/16 para ser considerado como efluente líquido para reúso para los siguientes 8 tipos:

- Reúso urbano
- Reúso para riego con acceso restringido
- Reúso agrícola en cultivos que no se procesan comercialmente
- Reúso agrícola en cultivos que no se procesan comercialmente

- Reúso agrícola en cultivos no alimenticios
- Reúso recreativo
- Reúso paisajístico
- Reúso en la construcción

Estableciendo un registro de los helmintos intestinales y de los coliformes fecales, luego del filtrado con carbón activado, se podría categorizar al efluente dentro de las tres categorías según la OMS que se especifican en las Normas Microbiológicas de Calidad de Efluentes de Agua Residual Tratada para Riego de 1989. El efluente final podría ser utilizable para el riego de los parques dentro de la empresa (Categoría A).

4.6 Tratamiento de lodos

En las diferentes etapas del tratamiento propuestos se generan residuos o lodos que deben ser manejados, en el caso de las rejas, tamices y el sedimentador primario la gestión de lodos debe ser diaria ya que permanentemente se están recolectando.

Para las dos unidades de desbaste se propone la disposición de los sólidos en una tolva de almacenamiento, con una capacidad de 2,5 m³, cuyos lixiviados se incorporarán a la cabeza del tratamiento, estos compuestos serán recolectados una vez por semana, para ser enviados a relleno sanitario.

Los compuestos que sedimentan en las lagunas que reciben una gran cantidad de sólidos suspendidos, se acumulan en el fondo de las mismas pudiendo afectar el funcionamiento del mismo por la reducción del volumen útil y, por lo tanto, el tiempo de retención hidráulica. Es por este motivo que la recolección de lodos debe ser proyectada con anterioridad para evitar problemas de saturación en el sistema de lagunaje garantizando una disposición final correcta de los lodos.

Como se estimó con anterioridad, en las 4 lagunas se generará un volumen total de 1660 m³ por año de lodos (despreciando el volumen generado en la laguna de maduración), siendo la laguna anaeróbica donde más se producen, representando un 71% del total.

La laguna anaeróbica ha sido diseñada para realizar una limpieza cada 5 años, cuando los lodos ocupen un 50% del volumen de la misma, para evitar un sobredimensionamiento de la playa de secado se realizará una limpieza cada dos años, que implicaría un volumen total de 2365 m³ de lodos. La remoción de barros de las lagunas facultativas se realizará cada 5 años, acumulándose un total de 2386 m³ de lodos. La remoción será en los meses de septiembre y octubre ya que es la época con la mejor relación entre temperatura y lluvias según indican los “Boletines Agrometeorológicos” de la E.E. Marcos Juárez del INTA. Estas condiciones favorecen un secado rápido de los lodos por la insolación y una baja probabilidad de que estos vuelvan a hidratarse.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio se construirá dos lechos de secado con 50 metros de largo, 50 metros de ancho y 50 centímetros de alto con una capacidad para almacenar un máximo de 1250 m³ de lodos cada uno. Para acelerar los tiempos de secado se

sugiere un espesor de lodos dentro de la playa de entre 20 y 30 centímetros (Strande, Ronteltap, & Bradjanovic, 2014).

Las paredes de los lechos serán de hormigón, los mismos contarán con un sistema de drenaje para tratar los lixiviados que ingresarán en la laguna anaeróbica. En el fondo de los lechos de secado habrá tuberías de PVC perforadas en forma de espina de pescado con una tubería central de 6" con 1% de pendiente y los ramales de 4" con pendiente de 0,5% para drenar los lixiviados que ingresarán en la laguna anaeróbica, representando un total de 4 m³/d, este tratamiento ha sido aplicado y se han obtenido resultados favorables. (Ingallinella, Sanguinetti, Fernández, Strauss, & Montangero, 2002)

Por encima del sistema de drenaje se colocará una capa de grava graduada de 1,6 a 51 mm de 20 centímetros de espesor y una de arena fina (0,5 mm) con un espesor de 5 cm, por sobre estas se colocan ladrillos con una separación de 5 cm insertos en un manto de 20 centímetros de arena gruesa (1 a 1,3 mm) que mejora el drenaje evitando la obstrucción de las capas de grava inferiores. En el ingreso del lodo a los lechos se colocarán pantallas deflectoras para facilitar su dispersión y rampas de acceso para retirar los barros ya secos (Strande, Ronteltap, & Bradjanovic, 2014).

Luego de un mes de almacenamiento en los lechos de secado, en caso de considerar su reutilización, los lodos se dispondrán en pilas de 3 metros de base y 2 metros de profundidad, al cabo de un año se deberán analizar los huevos viables de helmintos para su reutilización en cultivos de cereales, praderas, forrajeros o árboles (Categoría B, Huevos Helmintos Intestinales < 1 /1,000g Peso mojado) según indica la OMS. A su vez, se cumplirá con los "Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba" (Resolución N°29, 2017) que establecen la caracterización de los biosólidos por parte del generador y permiten la aplicación en campo de los mismos, cuando éstos poseen menos del 70% de humedad.

Los lodos purgados del sedimentador secundario serán dispuestos en las playas de secado junto con los generados dentro de las lagunas.

Para efectuar la remoción de lodos de las lagunas se adquirirá una draga flotante operada a control remoto, con una capacidad máxima de remoción de 600 m³/h y una potencia de 44 kW, la misma será de la marca DRAGFLOW, modelo DRP60 (Anexo: Figura 71).

5 Análisis económico

5.1 Inversión inicial

Para determinar la inversión inicial a realizar se desarrolló una planilla de cálculo (Anexo: Tabla LV), que considera los materiales necesarios para la construcción de la obra, mano de obra, necesidad de personal, gastos administrativos y la compra de equipamientos, tanto para las distintas unidades como para la operación y mantenimiento de la planta.

Como precios de referencia para todas las obras civiles en el marco del proyecto se han utilizado los propuestos en el siguiente sitio web: <http://www.argentina.generadordeprecios.info/>.

Los costos están discriminados por las distintas etapas del tratamiento, como se observa en la Tabla XXXVII, desde la preparación del terreno hasta el tratamiento de barros. De esta manera se extrae que el mayor gasto lo representa la construcción de las lagunas (tratamiento secundario) representando un 33% de la inversión inicial, seguido de los honorarios con un 28%.

Tabla XXXVII. Valor de implementación de cada etapa.

<i>Etapas</i>	Valor (USD)	Porcentaje
<i>Preparación del terreno</i>	\$ 138.746	10%
<i>Pretratamiento</i>	\$ 135.422	10%
<i>Tratamiento primario</i>	\$ 30.005	2%
<i>Tratamiento secundario</i>	\$ 444.445	33%
<i>Tratamiento terciario</i>	\$ 61.712	5%
<i>Tratamiento de lodos</i>	\$ 121.553	9%
<i>Honorarios</i>	\$ 366.473	28%
<i>Elementos para O&M</i>	\$ 41.375	3%
<i>Total</i>	\$1.339.731	100%

La inversión inicial de proyecto asciende a USD 1.741.650 (un millón setecientos cuarenta y un mil seiscientos cincuenta) con IVA incluido y un 30% de gastos asociados a la administración, imprevistos y utilidad (A.I.U). Se tomó como valor del dólar un total de 69 pesos argentinos.

Para estimar la cantidad de accesorios, metros de tuberías y volumen necesario de cemento para los canales en cada una de las etapas del tratamiento se ha utilizado como insumo la Tabla XXVI y Tabla LI que se encuentra en el Anexo.

Es importante destacar que estas cantidades pueden variar según lo requiera la obra civil, en el balance económico estas cantidades se ven incrementadas para solventar posibles roturas o errores de cálculos.

5.1.1 Preparación del terreno

Dentro de la etapa de preparación del terreno se consideró el desmalezado y limpieza del predio mediante la utilización de un tractor agrícola y una pala mecánica para la remoción de escombros, como también una nivelación preliminar de 6000 m² del predio.

A su vez, para evitar el traslado de los operarios durante la etapa de construcción se alquilarán tres obradores para ser dispuestos a escasos metros del lugar de operación y se delimitará con un cercado perimetral todo el espacio de obra para evitar el ingreso de personas no autorizadas.

Por último, se plantarán árboles autóctonos para establecer una cortina verde entre la zona del estacionamiento y las calles de circulación interna del recinto.

5.1.2 Pretratamiento

En esta etapa se consideró la compra de cada uno de los equipos necesarios para llevar a cabo el desbaste y la ecualización del efluente de planta, incluyendo las rejas manuales y mecánicas, tamices, bombas de impulsión, difusores y sopladores.

A su vez, entre los distintos ítems tenidos en cuenta, se encuentran los elementos necesarios para establecer las conexiones hidráulicas y accesorios necesarios para regular el caudal o evitar desperfectos en los sistemas de conducción, como son las tuberías de CPVC (para temperaturas elevadas) y conducción de aire, válvulas y compuertas. Las conexiones eléctricas de cada uno de los equipos se encuentran incluidas dentro del precio unitario de los mismos.

Todas las excavaciones de zanjas y estructuras se realizarán en forma mecánica con sus correspondientes entibaciones y apuntalamientos. El hormigón será utilizado para el recubrimiento de los canales de las rejas de limpieza y para la estructura del ecualizador.

Para evitar que las inclemencias climáticas afecten el correcto funcionamiento de los sopladores se presupuestó la construcción de una caseta cerrada y señalizada que será abierta únicamente para tareas de mantenimiento de los equipos.

5.1.3 Tratamiento primario

Para esta etapa constructiva, que consiste básicamente en la instalación del sedimentador, se estimó tanto la excavación y estabilización de la estructura del equipo mencionado, como también el trabajo de carpintería necesario para las estructuras de entrada (campana de dispersión) y salida (vertederos en V) del líquido.

Dentro del presupuesto también se encuentra la compra del puente barredor, y la bomba para la purga de lodos con su correspondiente conexión hacia los lechos de secado.

5.1.4 Tratamiento secundario

La mayor inversión del proyecto inicial se realizará en esta fase en la cual se realiza el tratamiento biológico de los efluentes. El mayor gasto es la excavación de las lagunas con palas mecánicas, seguido del terraplenado y estabilización de los taludes internos y externos de las mismas. Durante la excavación de los estanques se tuvo en cuenta la utilización de bombas de achique para retirar el agua de la forma más eficaz posible para continuar con las labores.

El lecho de las lagunas será debidamente compactado como también las distintas capas de arcilla y arena para evitar la infiltración del líquido a tratar, respetando el espesor establecido para cada una. La cantidad de hormigón contemplado representa tanto el revestimiento de los canales como también la construcción del borde libre de cada una de las lagunas.

Se consideraron también la construcción de cámaras de equipartición antes de cada una de las lagunas como también las estructuras de entrada y salida; que contarán con canaletas parshall prefabricadas para medir el caudal y vertederos triangulares, como también compuertas de fondo para regular el flujo de líquido.

5.1.5 Tratamiento terciario

Para realizar el tratamiento terciario del efluente, se consideró dentro del presupuesto una estructura techada con su correspondiente iluminación y señalización para resguardar los filtros de carbón activado y la bomba necesaria para elevar la altura del afluente del sistema.

Para la interconexión entre las lagunas y los equipos mencionados se colocarán tuberías de PVC y válvulas esclusas para permitir el paso del líquido, en el precio de los equipos ya se encuentran consideradas las cañerías que el mismo requiere para ser operado. Por último, el equipo Solvocarb para regular el pH será colocado en la tubería de colección de los filtros de carbón activado.

5.1.6 Tratamiento de lodos

El presupuesto estimado para el tratamiento de lodos contempla la construcción de los 3 lechos de secado, que se encontrarán enterrados y recubiertos de hormigón. A su vez, contarán con un sistema de colección de los lixiviados que llegará a la laguna anaeróbica para ser tratado mediante tuberías de PVC.

Los tres componentes del suelo de los lechos que serán: arena fina, grava gruesa y fina, representan el mayor gasto de esta etapa, junto con la draga que retirará los lodos de las lagunas cada un año aproximadamente.

5.1.7 Honorarios

Para estimar los honorarios se utilizaron como referencia las planillas anexas que ofrece el Colegio de Ingenieros de la provincia de Buenos Aires en su sitio web (www.colegioingenieros.org.ar/files/).

Para el ítem de trabajos previos y presentación de propuestas, se considera el presupuesto oficial de la obra, según lo indica el Artículo 1° de la Resolución 1310/19 del Colegio de Ingenieros, siendo el honorario mínimo un 5% del presupuesto calculado.

El apartado proyecto y dirección técnica contempla la categoría de la obra civil, que según lo establece el Decreto 6964/65, el proyecto en cuestión se considera de categoría 7, por ser una obra de saneamiento. Dentro del honorario también se tiene en cuenta la superficie de la obra (8 hectáreas) y el valor del metro cuadrado (0,65 USD), a su vez, se incluyen las siguientes tareas:

- Realización del proyecto
- Dirección técnica
- Dirección ejecutiva
- Inspección de obra

Según lo indica la Resolución 1.304 de Servicios de Higiene y Seguridad en el trabajo para obras de construcción, que contempla la Dirección y Coordinación del Servicio (arts 1° y 2°, respectivamente) se deben tener en cuenta el número de operarios en la obra (39 trabajadores) y el plazo en meses (12 meses) de duración de la misma.

Para estimar el número necesario de operadores se emplea la siguiente metodología:

Inicialmente se toma el presupuesto de ejecución material de la obra (PEM), que es el costo total de la obra sin el AUI y los honorarios. Se calcula que el 25% del PEM es destinado a la mano de obra del proyecto, por lo tanto:

$$\text{Costo mano de obra} = \text{PEM} \cdot 0,25 \quad (133)$$

El siguiente dato es el costo estimado en meses, que se aproxima en un año. Si se estima que existen 244 días laborales en el año 2020, con una jornada laboral de 9 horas, según establece el Régimen Especial de la Construcción, las horas trabajadas por un obrero en el año serán:

$$\text{Horas anuales} = 244 \text{ día} \frac{9 \text{ horas}}{\text{día}} \quad (134)$$

Extrayendo las escalas salariales del Convenio 76/75 de la UOCRA (actualizado a ENERO 2020) un trabajador recibe \$USD 2,75 por hora, el coste total por obrero será de:

$$\text{Sueldo anual} = \frac{\$USD 2,75}{h} \text{ Horas anuales} \quad (135)$$

Por lo tanto, el número total de obreros resulta ser:

$$n^{\circ} \text{ obreros} = \frac{\text{Costo mano de obra}}{\text{Sueldo anual}} \quad (136)$$

Por último, el presupuesto del Informe Técnico en Evaluación de Impacto Ambiental, contempla la categoría del establecimiento según el Nivel de Complejidad Ambiental, cuyo cálculo se encuentra en la sección 7.6 y el tipo de tareas a realizarse en el marco del proyecto (planta de tratamiento).

5.1.8 Elementos para la operación y mantenimiento

Dentro de esta sección de la inversión inicial se consideraron todos los elementos para facilitar la correcta operación de la planta como también el mantenimiento del predio y de las estructuras que conforman el establecimiento.

Se señalan herramientas de uso periódico, y para medición de parámetros in situ como son el bote inflable y la sonda multiparamétrica; como también vestimenta y elementos de protección personal para garantizar la seguridad de los trabajadores. Se incluye una caseta de operación cuya principal función será para almacenar las herramientas, además contará con un baño y el botiquín de primeros auxilios. Es importante destacar que el predio ya cuenta con un comedor comunitario y una zona de vestuarios para los empleados.

El último ítem es un tanque de almacenamiento de la fracción de la corriente blanca sin tratar, que será retirada semanalmente por una empresa privada.

5.2 Operación y mantenimiento

Los principales elementos que intervienen en los costes de operación y mantenimiento son los salarios del personal, el consumo energético, los insumos, los contratos externos y gastos administrativos. Los mismos ascienden a USD 120.989 (ciento veinte mil novecientos ochenta y nueve dólares) mensuales, siendo los mayores gastos aquellos asociados al consumo eléctrico y a los contratos externos (

Tabla XXXVIII).

Con el valor total ya mencionado, el costo mensual de tratamiento por metro cúbico de efluente es de USD 2,16/m³.

Tabla XXXVIII. Gastos asociados a cada especie, los mismos son para el transcurso de un mes.

Especie	Valor (USD)	Porcentaje
<i>Consumo eléctrico</i>	\$ 62.067	51%
<i>Insumos</i>	\$ 717	1%
<i>Sueldos</i>	\$ 2.582	2%
<i>Contratos externos</i>	\$ 37.718	31%
<i>Administrativos y mantenimiento</i>	\$ 17.845	15%
Total	\$ 120.989	100%

A continuación, se desglosa cada una de las partes que componen la operación y mantenimiento de la planta, cada uno de los ítems se encuentra descripto en la Tabla LVI, en el Anexo.

5.2.1 Consumo eléctrico

Teniendo en cuenta que CORNOL compra “energía eléctrica al Mercado Eléctrico Mayorista, por el servicio de Prestación Adicional de la Función Técnica de Transporte (PAFTT) que presta EPEC” (EPEC, 2020) , se le cobra una tarifa de peaje, por utilizar las líneas de alta tensión de la empresa distribuidora de energía de la provincia de Córdoba.

El suministro es de alta tensión (66.000 y 132.000 V) por lo que aplican los valores que figuran a continuación, actualizados a enero de 2020.

Cargo mensual por uso de la capacidad de transporte y pérdidas de potencia en la red de distribución:

<i>Por cada kW de “Demanda de Potencia” por mes en horario punta (18 a 23 hs)</i>	USD \$ 2,47
<i>Por cada kW de “Demanda de Potencia” por mes en horario Fuera de Punta (23 a 18 hs)</i>	USD \$ 1,95
<i>Cargo adicional por el Uso del Sistema de Transporte Interprovincial (CUST-89 km línea de alta tensión General Deheza-Alejandro Roca)</i>	USD \$ 722,42

Cargos por energía transportada del UFTT en las siguientes bandas horarias:

<i>Por cada kWh en Horario de Pico (18 a 23 hs)</i>	USD \$ 0,00129435
<i>Por cada kWh en Horario de Valle (23 a 05 hs)</i>	USD \$ 0,00118754
<i>Por cada kWh en Horario de Horas Restantes (05 a 18 hs)</i>	USD \$ 0,00124116

Teniendo en cuenta la potencia de cada uno de los equipos utilizados dentro del proyecto y de los kWh consumidos por estos (Tabla XXXIX), se estiman los cargos por energía transportada empleando la infraestructura de la empresa provincial prestadora del servicio eléctrico, EPEC. A esto se suma un recargo por la extensión de la línea eléctrica empleado, que es de 89 kilómetros, que son los que separan a CORNOL de la estación transformadora de General Deheza.

Tabla XXXIX. Potencia instalada y consumo mensual de los distintos equipos de la planta de tratamiento.

EQUIPO	Potencia (kw)	Consumo mensual (kWh)
<i>Rejas de limpieza automática Tsurumi KMS-300L</i>	0,1	72
<i>Tamices rotativos TR 63/120 Defender</i>	1	547,5
<i>Bomba Tsurumi modelo 250BK430</i>	9	6480
<i>Soplador de aire R 2.0 REPICKY</i>	6	4745
<i>Puente barredor INGECOL SRL</i>	0,75	547,5
<i>Bomba Tsurumi modelo 50UT2.4S</i>	0,35	273,75
<i>Bomba Tsurumi modelo 100C222</i>	21	151200
<i>Draga DRP60, DRAGFLOW</i>	44	58,6

Por último, se contabilizan los MWh consumidos que son comprados a CAMMESA con un precio de USD \$10,43 (junio 2020).

El consumo de los equipos se obtiene suponiendo que operan las 24 horas del día, todo el año, ya que la planta en condiciones ideales no posee paradas, por lo que el efluente se generaría constantemente.

5.2.2 Insumos

Los principales insumos requeridos para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento son el combustible a utilizar por las máquinas de jardinería, la pintura epoxi para pintar las rejas y posibles filtraciones en los canales de conducción, como también los lubricantes a aplicar a todos los componentes móviles que integran la planta. A su vez, se consideran los principales reactivos utilizados en el laboratorio para determinar los parámetros que se mencionan en la sección 6.4.

Para determinar la cantidad de carbón activado necesario, se tomó como medida de seguridad 1 año menos de la recomendación establecida por el fabricante (2 años).

5.2.3 Salarios

Los sueldos que se encuentran incluidos en el balance económico de la operación y mantenimiento de planta involucran a todo el personal necesario para realizar las tareas de mantenimiento, garantizar un correcto funcionamiento de las unidades y realizar los muestreos, a su vez también se incluyen las capacitaciones de los operarios mencionadas en la sección 6.1.3, a realizarse semestralmente.

Los dos operarios se encargarán de la operación y mantenimiento de la planta en el día a día; tarea que será supervisada por el ingeniero ambiental, que identificará posibles problemas y comunicará las soluciones. El ingeniero químico junto con los operarios serán los encargados de tomar muestras para determinar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento como se detalla en la siguiente sección (6). Tanto el ingeniero ambiental como el técnico químico realizarán media jornada laboral.

5.2.4 Contratos externos

Bajo este apartado se incluye la recolección del volumen de corriente blanca restante a realizarse una vez por semana por el GRUPO PELCO, como también la disposición final de los residuos retenidos en el desbaste de la planta a cargo de OPECI con una periodicidad de una semana. Ambas empresas entregarán los certificados correspondientes que aseguren el retiro y disposición de los compuestos.

5.2.5 Administrativos y mantenimiento

Se considera el canon de uso de cuerpos receptores que establece la Resolución General N°83, presentada en el Boletín Oficial del 18 de enero de 2019 (Administración General de Recursos Hídricos, 2018) .

Esta tasa se abona anualmente y está descripta por la siguiente ecuación:

$$T = T_m C Q A \quad (137)$$

T = tasa, \$

T_m = tasa mínima, 500* CA, donde CA = \$21,34 en 2019

C= categoría (II), 1,5

Q = coeficiente de caudal, 1,5

A = coeficiente de mayoración, 1,5

La categoría del establecimiento según el Artículo 5° de la Reglamentación de Estándares y Normas sobre vertidos para la preservación del Recurso Hídrico Provincial, se encuadra en la categoría II, por poseer carga orgánica biodegradable (Decreto 874/16).

Se considera el costo asociado a la póliza de seguro ambiental, que se obtiene a partir del cálculo de Monto Mínimo de Entidad Suficiente (MMES) que se especifica con mayor detalle en la sección 7.6.

Al calcularse el Nivel de Complejidad Ambiental del proyecto en la sección 7.6, se determina la obligación de contratar un seguro ambiental (Resolución MAYS N° 481/2011), el costo asociado a la póliza del mismo se obtiene a partir del cálculo del Monto Mínimo de Entidad Suficiente (MMES), según la Figura 57 que se encuentra en el Anexo.

El valor se obtuvo mediante el uso de una planilla de cálculo que ofrece una empresa aseguradora que otorga el seguro ambiental en cuestión, habilitada por la Resolución MAYS N° 256/2016, siendo el valor anual de la póliza de USD 147.550 (Ciento cuarenta y siete mil quinientos cincuenta dólares).

Para estimar el mantenimiento general de la planta, ya sea por reparación de estructuras, compra de materiales y gastos extra, se establece un 5% de la inversión inicial del proyecto (FAO, 2005).

6 Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes

Conforme lo establecido por el Art.30 del Anexo del Decreto 847/16 del Vertido de Efluente de la provincia de Córdoba se redacta este Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes. El objetivo de un manual de operación y mantenimiento es proporcionar al personal de la planta el correcto conocimiento de los diferentes procesos y técnicas de explotación recomendadas, como también las indicaciones necesarias para operar y mantener sus instalaciones con la mayor eficacia posible y prolongar la vida útil de las mismas, en el mismo se pondera el mantenimiento preventivo sobre el correctivo (Tchobanoglous & Burton, 1995).

La operación y el mantenimiento de rutina del sistema de lagunaje son fundamentales para garantizar un correcto funcionamiento del mismo. A pesar de que la principal ventaja de las lagunas de estabilización es que su operatoria es muy simple, el mantenimiento va a determinar la vida útil del sistema como también su eficiencia de remoción de los distintos componentes del efluente. En estos términos, la planificación de la operación y el mantenimiento son cruciales a la hora de implementar las lagunas como sistema de tratamiento (Oakley, 2005).

El mantenimiento del sistema de lagunas se basa principalmente en el cuidado de la obra civil, como puede ser realizar la jardinería del predio o reparar los sistemas de conducción, y la operación consiste en detectar problemas de funcionamiento y aplicar acciones correctivas.

Se contará con un galpón de operación donde se almacenarán las herramientas y equipos para realizar el mantenimiento mencionado en este capítulo, contará con baños y duchas únicamente, teniendo en cuenta que el predio ya cuenta con un comedor.

6.1 Operación

6.1.1 Operación básica

La medición de caudales es una de las tareas fundamentales a la hora de operar un sistema de lagunas. Mediante las canaletas Parshall que se encuentran instaladas en los canales de entrada y salida se deberán registrar los caudales para determinar tiempos de retención, cargas orgánicas y eficiencias de remoción. Esta operación se realizará en forma diaria (Oakley, 2005).

A su vez, se deberá controlar que todas las lagunas tengan un nivel de agua apropiado similar al de diseño para evitar problemas operativos, esta operación se puede llevar a cabo mediante la regulación de las compuertas de entrada y salida.

El operador también tendrá que realizar detecciones sensoriales para identificar malos olores y el color de cada una de las lagunas, ambos son indicadores del funcionamiento de los estanques.

Para corroborar que las aproximaciones teóricas de acumulación de lodos en las lagunas son correctas, se debe realizar una medición anual de la profundidad de los lodos. Para llevar a cabo esta tarea se debe utilizar un palo con tela blanca absorbente e introducirse en la laguna hasta que toque el fondo, para luego registrar el nivel de lodos, con este dato es posible determinar la tasa de acumulación y el volumen de los mismos. Para este procedimiento se adoptará una cuadrícula de muestreo (Anexo: Figura 52), para acceder al interior de las lagunas se utilizará un bote inflable Aquamarina BT-88892 con motor eléctrico (Anexo: Figura 72).

6.1.2 Indicador de buen funcionamiento

Para facilitar la tarea de los operadores de la laguna, se listan a continuación indicadores de buen funcionamiento para los tres tipos de estanques presentes en el sistema diseñado (Gandarillas, 2016).

Laguna anaerobia:

- Coloración gris.
- Burbujeo continuo en la superficie como producto de la actividad anaeróbica.
- Formación de costra o nata en la superficie compuesta principalmente por grasas aceites y material flotante.
- Taludes internos sin vegetación.

Lagunas facultativas y de maduración:

- Coloración verde o azul.
- Ausencia de sólidos sedimentables en el efluente.
- Taludes libres de plantas acuáticas y vegetación.

6.1.3 Personal requerido

Para garantizar que las tareas de operación y mantenimiento se realizarán correctamente se contará con un ingeniero supervisor de tiempo parcial y 2 operadores de tiempo completo, éstos requerirán habilidades propias para labores de operación, mantenimiento y monitoreo básico de aguas residuales y lagunas de estabilización. A su vez, recibirán capacitaciones semestrales en primeros auxilios, seguridad y salud ocupacional. No se considera la contratación de un vigilante ya que el establecimiento cuenta con seguridad privada contratada.

Teniendo en cuenta que los resultados de los muestreos internos son un insumo fundamental para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de efluentes, todos los operadores recibirán capacitación en técnicas de muestreos para obtener datos confiables a la hora de realizar dicha tarea.

6.2 Mantenimiento rutinario

A continuación, se encuentran las principales recomendaciones a la hora de realizar un correcto mantenimiento del sistema de tratamiento diseñado. Al operador puede resultarle útil la utilización del cronograma de tareas (Tabla XL) y la lista de verificación (Anexo: Figura 53) propuesta.

Tabla XL. Agenda de mantenimiento rutinario para operadores. Adaptado de Oakley, 2005 y Environmental Protection Agency, 2011.

Tarea/Actividad	Frecuencia			
	Diario	Semanal	Anual	Cuando sea necesario
<u>Operación básica</u>				
Medición de caudales	x			
Control Niveles de agua		x		
Detecciones sensoriales	x			
Medición de profundidad de lodos			x	
<u>Mantenimiento de rutina</u>				
Rejas y tamices	x			
Tanque equalizador y sedimentador primario	x			
Limpieza de canales (entradas y salidas)				x
Remoción de espumas y mat. Flotante				x
Jardinería				x
Revisión de taludes		x		
Revisión de cercado perimetral		x		
Remoción de lodos				x
Sistemas de impulsión		x		
Filtros de carbón activado		x		

6.2.1 Rejas y tamices

El mantenimiento de los equipos de desbaste consistirá en realizar inspecciones visuales para constatar que no existen atascamientos en los distintos equipos ni exceso de sólidos que impidan el correcto funcionamiento de las unidades. Se lubricarán todas las partes móviles tanto de los tamices como de las rejas automáticas cuando sea necesario y éstas últimas se pintarán con pintura epoxi cada 6 meses.

A su vez, el retiro de los sólidos que se encuentran en las tolvas de recolección se realizará en forma diaria para evitar la generación de olores y la presencia de alimañas. En situaciones de caudales punta, el operador deberá habilitar el canal de rejas manuales y permitir la operación del segundo tamiz circular.

6.2.2 Sistemas de impulsión

Las bombas presentes en el sistema de tratamiento deberán ser relevadas de forma diaria para detectar posibles fugas o problemas de operación. El operador será responsable de dejar constancia si se notan anomalías en la temperatura de las mismas, vibración excesiva y/o si existe rotura de los sellos mecánicos. Al igual que en las operaciones de desbaste, se aceitarán las partes móviles según la frecuencia que indica el fabricante de las bombas.

6.2.3 Tanque ecualizador y sedimentador primario

En el caso del tanque ecualizador, se deberá constatar que no existe sedimentación de sólidos en el fondo del mismo que tapen los difusores e impidan el correcto mezclado del líquido, se removerán en caso de que sea necesario. También será necesaria la extracción de la espuma de la superficie para evitar problemas operativos.

El sedimentador primario también debe ser inspeccionado diariamente verificando que la purga de lodos es correcta, que el puente funciona adecuadamente y que no existe taponamiento en el sistema de vertederos.

6.2.4 Lagunas

En lo que concierne a las lagunas de estabilización, se debe evitar la acumulación de materiales flotante (algas, ascenso de lodos, formación de capas de nata y espuma, grasas, aceite, hojas) y su disposición en los taludes para evitar malos olores y la obstrucción de las estructuras de interconexión. Comúnmente el viento favorece que los mismos se acumulen en las esquinas donde un operador puede removerlos fácilmente con un rastrillo, si el material es inalcanzable, se utilizará el gomón y un medio mundo de trama fina para removerlo (Comisión Nacional de Agua, 2007).

El mantenimiento de las estructuras de entrada, salida, interconexiones y medidores de flujo, consiste en limpiar diariamente éstas estructuras; los residuos removidos se dispondrán junto con los barros extraídos del lecho de las lagunas (Oakley, 2005).

En cuanto a la jardinería a realizarse en el predio se deberá prestar especial atención a que la vegetación se encuentre a 20 centímetros (como mínimo) por encima del borde libre de cada uno de los espejos de agua. El operador también debe constatar la ausencia de plantas acuáticas como juncos y jacintos, siendo fundamental la remoción de lemna ya que se puede producir un boom poblacional que dificulte el funcionamiento de las lagunas, en este sentido es posible utilizar patos para reducir su población.

Si se han adoptado las medidas mencionadas con anterioridad, la presencia de insectos y roedores debería ser nula. Los mosquitos pueden desarrollarse con facilidad si los taludes presentan malezas o cualquier tipo de vegetación, a su vez si existe un aumento en su número se puede reducir el volumen de líquido de las lagunas para favorecer el secado de los huevos que se encuentran en los márgenes por sobre el pelo del agua.

En cuanto a los anfibios y/o reptiles que pueden desarrollarse en las lagunas se procurará revisar los bordes libres de las lagunas que es donde las tortugas pueden llegar a establecer sus nidos y afectar la integridad de los taludes.

El operador será responsable de la inspección diaria de los taludes verificando la ausencia de erosión y/o asiento de animales. En caso de encontrarse en malas condiciones se deberán reparar con arcilla y resembrar el pasto. En este mismo sentido se revisará que el cercado perimetral se encuentre en buenas condiciones para evitar el ingreso de animales de gran porte o personas no autorizadas al sistema de tratamiento (Oakley, 2005).

6.2.5 Filtros de carbón activado

El mantenimiento de los filtros de carbón activado consistirá en verificar que las presiones de trabajo son las adecuadas y programar correctamente el retro lavado de los equipos, que tendrá una periodicidad semanal pero el mismo estará sujeto a los parámetros de salida de nitratos y sólidos suspendidos.

El carbón activado será reemplazado cada seis semanas según indica el fabricante, pero, al igual que en el caso de los retro lavados, la sustitución del material filtrante será susceptible a los parámetros de salida del efluente.

6.3 Puesta en marcha

Al comenzar el proceso de lagunaje los organismos encargados de la estabilización de la materia orgánica necesitan un tiempo de acondicionamiento que dependerá principalmente de las condiciones ambientales y de las características del afluente del sistema (Gandarillas, 2016).

En términos generales se recomienda que la puesta en marcha se realice en primavera o verano para favorecer el desarrollo de los microorganismos y acortar los tiempos de acondicionamiento. A su vez, una vez construidas las lagunas, se deben llenar cuanto antes para evitar el agrietamiento del fondo y de los taludes por consecuencia de la lluvia y el crecimiento de la vegetación en los mismos.

A continuación, se establecen recomendaciones para cada una de las lagunas:

- Laguna anaerobia:
 - Respetando el tiempo de retención de diseño, 2 días, se debe comenzar a operar la laguna en continuo desde un principio.
 - Es fundamental que durante los primeros meses de operación el pH sea mayor a 7, condición que será cumplida por el pH que presenta el efluente de planta.
- Laguna facultativa:
 - Las lagunas facultativas se comenzarán a llenar cuando el nivel de agua de la laguna anaeróbica alcance 1 metro.
 - Se recomienda llenar la laguna hasta 1 metro de profundidad y esperar entre 15 y 30 días, hasta que el líquido adquiera una tonalidad verde para luego llenar

el estanque y comenzar a operar en continuo. Al contar con dos lagunas en paralelo se llenarán ambas a la vez.

- Laguna de maduración:
 - Cuando las lagunas facultativas se encuentren operando de forma continua simplemente llenar las lagunas de maduración.
 - Hasta que todas las lagunas no se hayan llenado completamente no se realizará la descarga del efluente.

6.4 Muestreo

Para asegurarse que la planta cumple con los requerimientos establecidos por el decreto 847/16 de “Vertido de efluentes” en la provincia de Córdoba, es necesario realizar muestreos rutinarios que permitan conocer las características físico químicas del efluente.

Por este motivo es que debe seguir un calendario programado para muestrear la calidad de agua, no solo del efluente final sino también en las distintas unidades operativas para detectar posibles fallas en las mismas. Todas las muestras extraídas serán analizadas en el laboratorio existente en planta, que cuenta con una amplia gama de equipos analíticos y material de laboratorio ya que se realizan análisis continuos del agua como principal materia prima y de las distintas etapas de la producción de bioetanol.

En la figura que se encuentra a continuación (Figura 39) se pueden ver representados los distintos puntos de toda la planta de tratamiento proyectada donde se tomarán las muestras y que tipo de parámetro será analizado. En las dos secciones siguientes se detallan aspectos fundamentales para tener en cuenta a la hora de realizar los muestreos. Se recomienda a los operadores utilizar la Tabla LIII, que se encuentra en el Anexo, para tener en cuenta el tipo de muestreo a analizar y los requerimientos de preservación de las muestras según el parámetro a determinar.

Tabla XLI. Parámetros a analizar y frecuencia de muestreo dentro de los puntos establecidos en la Figura 39. Adaptado de: Oakley, 2005.

Parámetros	Frecuencia			
	Diaria	Semanal	Mensual	Anual
<u>Análisis hidráulicos</u>				
Caudal (m ³ /día)	x			
<u>Aspectos físicos</u>				
Temperatura (°C)	x			
Colores	x			
Olores	x			
<u>Análisis Físico-Químicos</u>				
pH		x		
Oxígeno disuelto (mg/l)		x		

<i>Fósforo total (mg/l)</i>		x	
<i>Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)</i>		x	
<i>Nitrato (mg/l)</i>		x	
<i>Sólidos suspendidos (mg/l)</i>	x		
<u><i>Análisis Bioquímicos</i></u>			
<i>DBO (mg/l)</i>	x		
<i>DQO (mg/l)</i>		x	
<u><i>Análisis microbiológicos</i></u>			
<i>Coliformes fecales (NMP/100 ml)</i>		x	
<i>Huevos de Helmintos (No. /gramo seco)</i>		x	
<i>Huevos de Helmintos en lodos (No. /gramo seco)</i>			x
<u><i>Examinación al microscopio</i></u>		x	

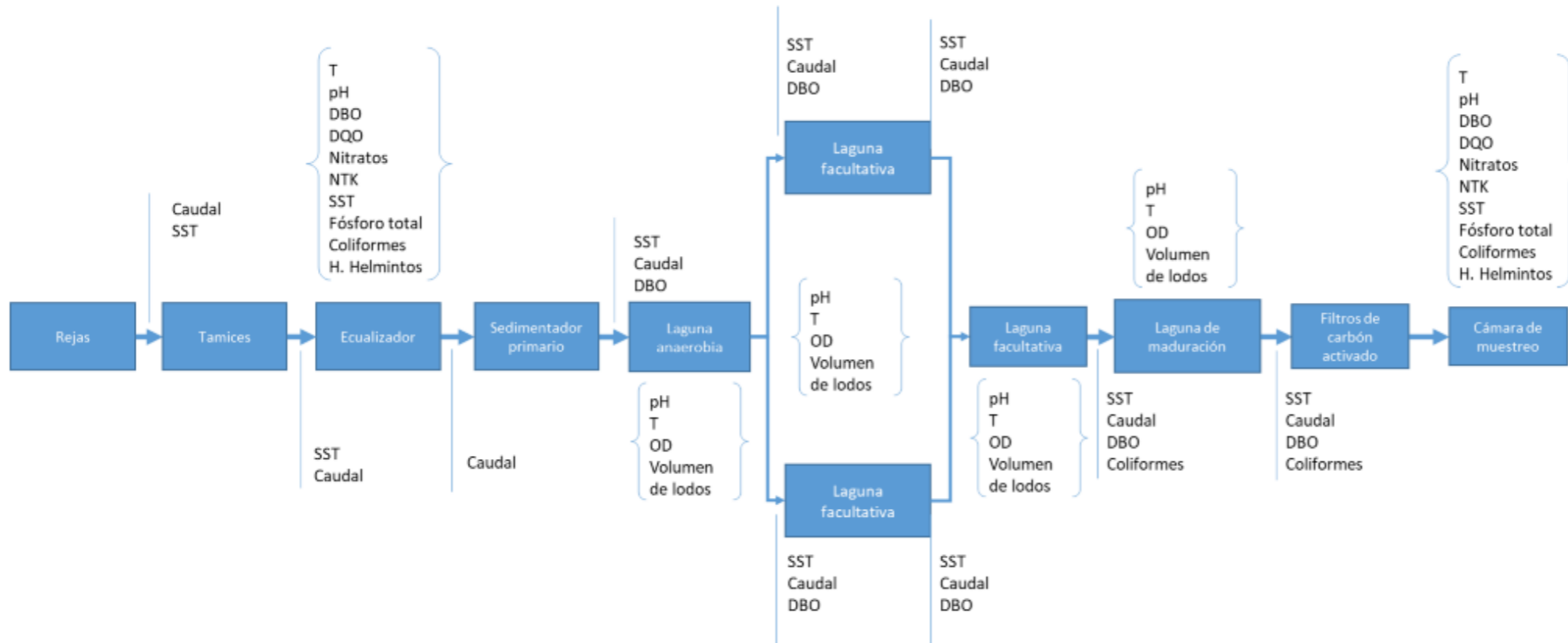


Figura 39. Esquema de la toma de muestras propuestas para la planta de tratamientos.

6.4.1 Pretratamiento y tratamiento primario

En estas etapas del tratamiento de efluentes se registrará el caudal del efluente crudo y los sólidos suspendidos totales antes y después del paso del líquido por los tamices y el sedimentador primario para constatar un correcto funcionamiento de los mismos, esperándose una remoción del 15% y del 60%, sobre los sólidos remanentes en cada unidad.

En el ecualizador se registrarán todos los parámetros establecidos en la Figura 39, para determinar las condiciones iniciales promedio con que el efluente ingresa al tratamiento primario y secundario para luego establecer un porcentaje de reducción muestreando las mismas variables en la cámara final de la planta.

El caudal será registrado mediante los caudalímetros insertos en las tuberías de conducción entre las distintas unidades operativas.

6.4.2 Lagunas

En las lagunas se realizarán muestreos para determinar los siguientes puntos:

1. La concentración de DBO en el afluente del sistema y en el efluente de cada laguna.
2. La concentración de sólidos suspendidos en el afluente de cada laguna como medida del potencial de acumulación de los lodos.
3. La concentración de sólidos suspendidos en el efluente de cada laguna para determinar la concentración de algas.
4. Concentración de coliformes fecales en el ingreso y egreso del líquido de la laguna de maduración.
5. Caudal ingresante en cada una de las lagunas.

Con estos parámetros es posible determinar:

- Carga hidráulica y el tiempo de retención hidráulica de cada laguna.
- Carga orgánica superficial del proceso.
- Eficiencias de remoción de DBO₅, y coliformes fecales.
- Carga de sólidos suspendidos en las lagunas y la tasa de acumulación de lodos.

Todas las muestras deberán ser tomadas en lugares representativos de la unidad que se está analizando, por lo tanto, se garantizará que la ubicación del muestreo sea en una zona de mezcla y que no presente rasgos de cortocircuito. En la laguna anaerobia la muestra será tomada entre una profundidad de 20 cm y 30 cm, en el caso de las facultativas y de maduración a 50 cm (Comisión Nacional de Agua, 2007).

Las muestras a almacenar serán refrigeradas para garantizar la integridad de las mismas. En el caso de registrar la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, se deberá hacer *insitu* para evitar lecturas erróneas y en lo posible en horas similares del día, aunque cada cierto tiempo se deben alterar estos horarios para comprender la variación de los parámetros mencionados (Environmental Protection Agency, 2011).

En el caso de las lagunas se utilizará la misma grilla de muestreo mencionada para la determinación de la profundidad de los lodos (Anexo: Figura 52). A la hora de muestrear las lagunas es importante evitar remover el lecho de la mismas para prevenir el desprendimiento de sólidos como también realizar los muestreos luego de fuertes vientos o tormentas. Con estas determinaciones se dejarán asentadas las eficiencias de remoción de cada una de las lagunas.

En la tabla que se encuentra a continuación (Tabla XLII) se identifican algunos problemas operativos utilizando como diagnóstico los parámetros sugeridos a analizar en los muestreos. En las secciones siguientes se hace énfasis en cada uno de ellos.

Tabla XLII. Problemas operativos con su respectivo diagnóstico. Adaptado de: Richard, 2003 y EPA, 2011.

Problema	Diagnóstico
Sobrecarga orgánica	Perfil de OD en la laguna por la mañana, con mediciones menores a 1 mg/l
	Detección de bacterias filamentosas al microscopio
	Valores elevados de DBO en el efluente
	Relación $1 < SST/DBO < 1,5$
Sobrecrecimiento algal	Elevada abundancia relativa de algas ($>3,5 \times 10^5$)
	Incremento del pH (>9)
	Incremento del OD, con una saturación en la laguna de maduración
	Relación $SST/DBO > 2$
Cortocircuito	Efluente de laguna con mayor temperatura que en el punto central de la misma
	Detección de sólidos presentes en efluente de planta
	Relación $1 < SST/DBO < 1,5$
Alta concentración de amonio en el efluente	Temperaturas bajas ($5^{\circ}C$)
	Sobrecarga orgánica
	Baja concentración de OD
	Detección de lodo viejo (con liberación de amonio)
Nitrificación parcial	DBO elevada. Se debe comparar con análisis de DBO inhibiendo la nitrificación (DBO carbonosa). $DBO \gg cDBO$
	Relación $0,2 < SST/DBO < 0,6$

Muchos de los problemas mencionados poseen ocurrencia estacional lo que permite que sean identificados con mayor facilidad. En el caso de las sobrecargas orgánicas y las deficiencias de oxígeno son más probables durante los meses fríos, por el bajo desarrollo de algas y su consiguiente oxigenación del medio. Los cortocircuitos, a pesar de poder presentarse durante cualquier época del año como los problemas mencionados anteriormente, su incidencia aumenta con temperaturas bajas debido a las diferencias de temperatura entre el afluyente y el líquido en el cuerpo de la laguna. El agua ingresante no se mezcla con el agua más fría de la laguna y tiende a evacuarse sin ningún tipo de mezcla (Richard M., 2003).

6.4.2.1 Temperatura

La temperatura del líquido puede ser utilizada para detectar posibles pérdidas o infiltraciones en el sistema, si se observan cambios bruscos en el parámetro. Puede ser empleada para predecir la eficiencia del tratamiento como también el tiempo de retención hidráulico necesario de cada laguna para garantizar la reducción de contaminantes.

A medida que la temperatura del afluente de las lagunas se reduce es recomendable que la operación de las lagunas facultativas sea cambiada de en serie a paralelo para reducir la carga orgánica en cada una. Por el contrario, si aumenta la temperatura, la operación puede ser cambiado de en paralelo a en serie para reducir los tiempos de retención hidráulicos y evitar un potencial sobrecrecimiento algal, como también dejar en desuso la operación de una de las lagunas.

6.4.2.2 Caudal

Mantener un registro de los caudales es indispensable para operar correctamente la planta e identificar problemas, es posible detectar infiltraciones o pérdidas como también determinar cargas orgánicas volumétricas y/o superficiales y tiempos de retención hidráulicos.

6.4.2.3 pH

Grandes cambios respecto a los valores de pH registrados con anterioridad pueden indicar problemas tanto en el efluente industrial como cloacal. El rango esperado para el pH que ingresará a planta es entre 7-8. Este parámetro representa el estado de las lagunas, por ejemplo, los estanques que presenten una coloración verde oscura tendrán un elevado pH por la presencia de un gran número de algas, ya que utilizarán el CO₂ o el bicarbonato de sodio (que aporta a la alcalinidad) disponible para realizar la fotosíntesis. Por la noche, se producirá una liberación de dióxido de carbono, producto de la respiración celular, disminuyendo el pH.

Aquellas celdas que presenten un pH menor a 6,8 pueden presentar condiciones sépticas o próximas a llegar a esa condición (Environmental Protection Agency, 2011).

6.4.2.4 Oxígeno disuelto

Este indicador es fundamental para determinar la actividad biológica aeróbica dentro de las lagunas, se recomienda ser testado al amanecer y en el mediodía. Un descenso de este indicador puede representar un shock de carga orgánica o toxicidad dentro del influente. Es posible detectar variaciones durante el día en este parámetro (Figura 40), por lo tanto, es importante que el operador registre el día y la hora del muestreo.

Si se detecta un descenso paulatino durante las lecturas matinales puede deberse a un exceso de carga orgánica, un sobrecrecimiento de algas o un problema de cortocircuito dentro del estanque. Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar que el OD se encuentre entre 0 y 1 mg/l, como por ejemplo operar en paralelo las lagunas o en caso de un aumento excesivo de este indicador cambiar a operación en serie.

Una vez por mes se recomienda realizar un perfil de OD dentro de la laguna, utilizando la grilla de la Figura 52 del anexo. En cada punto de la misma se registrará el valor del indicador

cada 30 centímetros hasta alcanzar el lecho del estanque. Este muestreo permitirá identificar deficiencias de oxígeno durante la tarde (puntos de máximo descenso), zonas muertas o problemas de mezcla/estratificación.

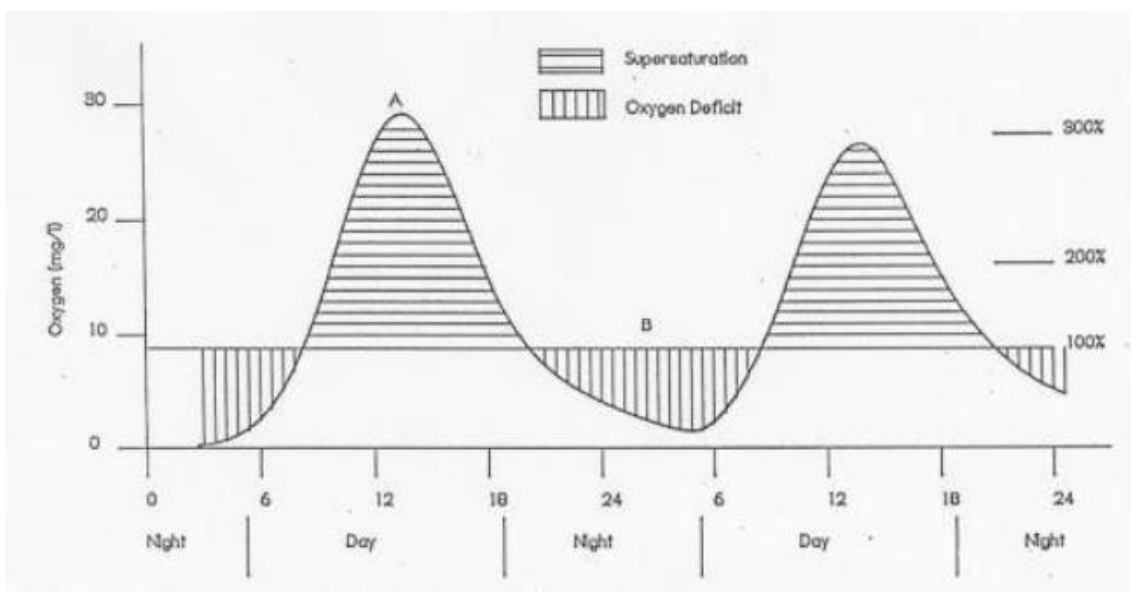


Figura 40. Concentración de oxígeno disuelto en lagunas aerobias durante el día. Fuente: Richard and Bowman, 1997.

6.4.2.5 Demanda biológica de oxígeno

La demanda biológica de oxígeno (DBO) es el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos en una muestra durante 5 días, en la oscuridad y a 20°C. Como establece la normativa (Decreto 847/16, 2016), la muestra será filtrada (para eliminar la influencia de algas) y el resultado obtenido permitirá determinar la carga orgánica ingresante a cada laguna, como también tomar decisiones respecto a cambios operativos y comparar el indicador respecto a la normativa.

Elevados valores de DBO pueden atribuirse a las siguientes causas:

- Sobrecarga orgánica
- Bajos niveles de OD
- Tiempos hidráulicos de retención cortos
- Cortocircuitos
- Crecimiento algal o de bacterias sulfurosas
- Acumulación de lodos o liberación de los mismos en el efluente final
- Alta concentración de amonio y nitrificación en el análisis de la DBO; es posible realizar un análisis de DBO inhibiendo la nitrificación (cDBO).

6.4.2.6 Relación sólidos suspendidos y DBO

Los sólidos suspendidos totales (SST) representan la cantidad de materia seca retenida en un filtro o un vaso de precipitado. El origen de los sólidos suspendidos en el afluente de la planta y los registrados en los efluentes de las lagunas es distinto, mientras que los primeros

proviene de los residuos de la fermentación y cloaca, los últimos se deben a la presencia de algas.

La relación entre ambos parámetros permite identificar problemas en los estanques, como se observa en la tabla a continuación.

Tabla XLIII. Relación SST/DBO como indicador de problemas operativos. Adaptado de EPA, 2011.

SST/DBO	Causas
<1	Solubilización de lodo viejo con incremento de DBO soluble Nitrificación en el test de DBO
1	Escaso tratamiento o cortocircuito con mezcla de líquido sin tratar con el efluente final.
1,5	Valor normal para operación correcta de lagunas
2-3	Crecimiento algal. Desprendimiento de lodo del lecho.

6.4.2.7 Nitrógeno

Durante los meses cálidos del año el nitrógeno orgánico y amoniacal será nitrificado, produciéndose un efluente con un mayor porcentaje de nitratos y a su vez una mayor volatilización a la atmósfera por parte del nitrógeno amoniacal. En días más se verá reducida la intensidad de ambos procesos, por lo que se recomienda aumentar los tiempos de retención.

Bajos niveles de OD y de alcalinidad son limitantes del proceso de nitrificación, valores cercanos a 2 mg/l de OD y mayores a 60 mg/l de alcalinidad son recomendables para facilitar la nitrificación (Environmental Protection Agency, 2011). La alcalinidad puede ser elevada mediante el agregado de cal en las lagunas.

6.4.2.8 Examinación al microscopio

Para realizar este análisis se utilizará un microscopio de contraste de fases, y se examinarán muestras simples de cada una de las lagunas. Se determinará la abundancia relativa de cada uno de los siguientes compuestos para determinar posibles problemas dentro de la laguna (Tabla XLIV).

Diversas especies de bacterias filamentosas pueden ser detectadas en las lagunas, que a pesar de que no son capaces de generar *bulking*, como en el proceso de lodos activos, permiten diagnosticar la situación de crecimiento dentro de la laguna e identificar problemas. Una alta concentración de *Haliacomwnobacter hydrossis*, *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa spp.* y *Thiothrix I and II*, pueden representar condiciones sépticas y/o una baja concentración de OD (Richard M. , 2003).

La identificación de bacterias anaeróbicas del azufre en la muestra analizada indica severas condiciones de anaerobiosis en el cuerpo de agua. Entre las especies más destacadas se encuentran *Thiocystis spp.* y *Rhodococcus spp.*, estas bacterias fotosintéticas crecen en ambientes luminosos con disponibilidad de ácidos orgánicos y bajas concentraciones de OD.

Las algas presentes en las lagunas son necesarias para la estabilización de la materia orgánica, ya que aportan oxígeno, insumo esencial para la descomposición de los compuestos orgánicos. Pero en el caso de que abundancia relativa sea muy elevada (mayor a $3-5 \times 10^5$ /ml), pueden acarrear una alta concentración de SST y DBO, como también un aumento del pH. Las causas de los sobrecrecimientos de algas pueden ser tiempos elevados de retención, mezcla excesiva y acumulación de lodo viejo con la liberación de nutrientes. (Richard M. , 2003)

Tabla XLIV. Posibles compuestos identificados en el microscopio y potenciales problemas dentro del cuerpo de agua. Adaptado de EPA, 2011.

Compuesto	Problema
<i>Sólidos presentes en el efluente de planta</i>	Cortocircuito
	Estabilización inapropiada de la materia
<i>Partículas de lodo viejo</i>	Acumulación de lodos y necesidad de limpieza del lecho
<i>Bacterias filamentosas</i>	Baja concentración de OD y condiciones sépticas
<i>Bacterias del azufre</i>	Condiciones anaeróbicas y sulfuros
<i>Algas</i>	Sobrecrecimiento algal Tiempos de retención hidráulica elevados Acumulación de lodos

6.5 Problemas operativos y su solución

Los operadores y el ingeniero a cargo deben tener conocimiento de los posibles problemas a presentarse y sus respectivas soluciones, este apartado está especialmente dedicado a las problemáticas de las lagunas.

6.5.1 Malos olores

Los malos olores pueden aparecer por diversas razones, entre ellas se encuentran:

- Sobrecarga de materia orgánica.
- Presencia de inhibidores del desarrollo microbiano.
- Descomposición anaeróbica de fangos y materiales flotantes,
- Bloqueo del viento por parte de árboles que impiden la re-aireación de las lagunas (facultativas y de maduración).
- Caída brusca de la temperatura del líquido.

6.5.2 Materiales flotantes y espuma

La presencia de espuma, lodos y materiales flotantes en las lagunas son perjudiciales ya que impiden la difusión del oxígeno y el paso de la luz, impidiendo la fotosíntesis y el desarrollo de bacterias aerobias provocando una disminución en la eficiencia de la laguna. A su vez, pueden provocar malos olores por su descomposición y la aparición de mosquitos, entre las principales causas de la aparición de materiales flotantes encontramos (Oakley, 2005):

- Falta de retención de sólidos por parte del desbaste y el sedimentador primario.
- Sobreacumulación de lodos en el lecho de la laguna.
- Falta de mantenimiento adecuado.

6.5.3 Coloraciones anormales

Las lagunas anaeróbicas suelen tener una coloración gris y las lagunas facultativas y de maduración un color verde brillante por la presencia de organismos fotosintéticos. Si se aprecian los siguientes colores en las lagunas de estabilización, es por causa de un problema (Comisión Nacional de Agua, 2007):

- Laguna anaerobia:
 - Rosa: desarrollo de bacterias fotosintéticas del azufre por falta de carga.
- Lagunas facultativas o de maduración:
 - Café: reducción de la actividad fotosintética como producto del crecimiento excesivo de rotíferos o de crustáceos microscópicos (pulga de agua), los cuales se alimentan de algas. Como consecuencia disminuye el oxígeno disuelto, se modifica el pH y generación de malos olores.
 - Rosa o rojo: desarrollo de bacterias fotosintéticas del azufre, condiciones anaeróbicas por sobrecarga.
 - Gris: Sobrecarga de la laguna o tiempos de retención muy cortos que no permiten la estabilización de la materia orgánica.
 - Negro con material flotante: Degradación de los lodos del fondo por cambios en la composición del agua o por sobrecarga. Generación de malos olores.
 - Amarillo o verde opaco: Presencia de algas cianobacterias; significa bajo pH y oxígeno.

6.5.4 Cortocircuitos o anomalías de flujo

Los cortocircuitos se producen cuando el efluente de planta no permanece el tiempo suficiente dentro del cuerpo de agua para ser tratado como corresponde o según lo diseñado. Este problema puede atribuirse a:

- Estratificación por temperatura.
- Mal diseño de las estructuras de entrada y salida.
- Relación largo-ancho de la laguna deficiente.
- Acumulación de fangos.
- Presencia de plantas acuáticas.

Este problema puede detectarse mediante la variación del oxígeno disuelto y la temperatura en el cuerpo del líquido, desde la superficie hasta el lecho en incrementos de 30 centímetros (Environmental Protection Agency, 2011).

6.5.5 Mosquitos y otros insectos

Los insectos, principalmente los mosquitos, pueden resultar un problema si su población se desarrolla exponencialmente ya que son vectores de enfermedades. La causa de su aparición se debe en gran medida a la presencia de focos para el desarrollo de larvas como pueden ser las plantas acuáticas y el material flotante (Comisión Nacional de Agua, 2007).

6.5.6 Crecimiento de malezas y desarrollo de lemnas

El crecimiento de malezas y juncos puede atribuirse a baja profundidad de la laguna (<1,5m) o, si se desarrollan en las orillas de las lagunas, son señal de un mal mantenimiento o de falta de un revestimiento adecuado (Oakley, 2005).

El crecimiento excesivo de lemnas o lentejas de agua, en las lagunas con condiciones aeróbicas, puede provocar un incremento de los sólidos suspendidos del efluente, una reducción del oxígeno disuelto durante las primeras horas del día y un pH elevado, afectando la calidad operativa del cuerpo de agua. Las causas de su ocurrencia pueden deberse a (Environmental Protection Agency, 2011):

- Elevados tiempos de retención.
- Bajas profundidades operativas de los estanques.
- Agua caliente.
- Cantidad excesiva de nutrientes (P y N).

Se propone incorporar aireadores superficiales, para eliminar las matas de lemnas y favorecer la reaireación, colocar salidas de agua por debajo de la capa de plantas acuáticas y por último colocar una lona sobre la laguna para favorecer el secado de las mismas.

En la Tabla XLV, se pueden ver las principales soluciones sugeridas a los problemas presentados con anterioridad.

Tabla XLV. Principales síntomas, sus causas y soluciones recomendadas. Adoptado de: Oakley, 2005, Environmental Protection Agency, 2011, Gandarillas, 2016 y Comisión Nacional de Agua, 2007

Síntoma	Causa	Solución
Malos olores	Sobrecarga de materia orgánica.	By-pass Aumentar la profundidad de trabajo Ajustar el pH con cal
	Presencia de inhibidores del desarrollo microbiano.	By-pass temporal hasta detectar la sustancia mediante un monitoreo
	Descomposición anaeróbica de fangos y materiales flotantes	Remover las espumas y el material flotante
	Bloqueo por parte del perímetro de árboles que impiden la re-aireación de las lagunas (facultativas y de maduración)	Rediseñar la cortina arbórea según la dirección promedio del viento en la zona
	Caída brusca de la temperatura del líquido	Promover el desarrollo de costra superficial con paja o una lona
Materiales flotantes y espuma	Falta de retención de sólidos por parte del desbaste y el sedimentador primario.	Limpiar las rejas y tamicos, controlar del sedimentador. Aumentar las tareas de mantenimiento
	Sobreacumulación de lodos en el lecho de la laguna.	Eliminar de lodos mediante la draga
	Falta de mantenimiento adecuado.	Remover de material con rastrillo desde la orilla o embarcándose y empleando el medio mundo
Coloraciones anormales	Rosa (anaerobia): bacterias de azufre	Disminuir la profundidad operativa de la laguna Siembra de bacterias metanógenas.
	Rosa o rojo: desarrollo de bacterias fotosintéticas del azufre, condiciones anaeróbicas por sobrecarga.	Mejorar la distribución en las zonas de entrada Recircular parte del efluente
	Café: reducción de la actividad fotosintética.	Analizar sobrecarga del sistema
	Gris o negro (lag. facultativas y de maduración):	Analizar sobrecarga del sistema
	Amarillo o verde opaco: Presencia de algas azules-verdes; significa baja en pH y oxígeno.	Remover superficie con mangueras o motor Aplicar herbicidas
Cortocircuitos o anomalías de flujo	Estratificación por temperatura.	Colocar entradas y salidas a varias profundidades
	Mal diseño de las estructuras de entrada y salida.	Rediseñar entradas y salidas, adoptando una configuración de entradas múltiples, teniendo en cuenta el régimen del viento
	Relación largo-ancho de la laguna deficiente.	Colocar aireadores superficiales para favorecer el flujo
	Acumulación de fangos.	Retirar los lodos del lecho de la laguna
	Presencia de plantas acuáticas.	Remover todas las plantas acuáticas
Mosquitos y otros insectos	Focos de reproducción de larvas	Eliminar plantas acuáticas del interior y de las orillas de las lagunas
		Remover las malezas de los taludes
		Variar el nivel de agua para inundar o secar las larvas de las orillas
Crecimiento de malezas	Falta de revestimiento	Sembrar de peces en las lagunas
	Bajas profundidades operativas de los estanques.	Ampliar los revestimientos de las lagunas, ya sea con cemento o pasto sembrado.
	Falta de mantenimiento adecuado.	Controlar el nivel de agua Aumentar la frecuencia de mantenimiento de las lagunas

6.6 Higiene y seguridad

La operación de un sistema de lagunas requiere ciertas medidas higiénicas para preservar la salud de la población circundante como también de los operarios de planta. En esta sección se describirán procedimientos, normas y recomendaciones de índole técnica, legal y administrativa con el fin de proteger la salud de los operadores e informar de los riesgos presentes durante su trabajo, promoviendo la impulsión de la mejora continua con el objetivo de para minimizar estos riesgos (SENASBA, 2019).

Se prohíbe terminantemente la realización de actividades recreativas en los alrededores de los cuerpos de agua, por lo que se instalará un cerco perimetral que estará vigilado las 24 horas del día y cartelera de precaución.

6.6.1 Medidas higiénicas

La OMS (1987) recomienda las siguientes medidas de higiene y seguridad para operadores de lagunas de estabilización:

1. Se debe contar con agua limpia, jabón y cloro en las inmediaciones de la laguna. Se aconseja el uso de toallas de papel para evitar el desarrollo de focos infecciosos en toallas de tela que pueden permanecer tiempos prolongados sin ser lavadas.
2. La caseta de operación tiene que contar con un botiquín de primeros auxilios que posea: tela adhesiva, algodón, alcohol, Iodo Povidona, una solución detergente desinfectante, tijeras, y pinzas, y un repelente para mosquitos. La estructura también debe contar con extintores y un teléfono celular para emergencias.
3. Los operadores deben contar con guantes y botas de goma, casco de trabajo, y al menos dos trajes de trabajo. Toda la indumentaria utilizada en el predio debe permanecer en él al finalizar la jornada laboral.
4. En caso de irse a comer o beber, debe lavarse siempre las manos con agua y con jabón. Si el operario ingresa su propia comida al recinto debe utilizar siempre la zona del comedor, evitando en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que ponga en contacto a la comida con algún elemento que haya estado en contacto con desechos contaminados.
5. Todas las herramientas de trabajo deben ser lavadas con agua limpia antes de ser guardadas después de haberlas sido utilizadas durante la jornada.
6. Los cortes, arañazos y contusiones que puedan sufrir los operadores deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
7. El operador debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén siempre secos, en caso de realizar mantenimiento de equipos eléctricos.
8. La entrada a las inmediaciones de la planta debe mantenerse cerrada cuando no existen visitas autorizadas. Se deben recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados.

9. La instalación debe disponer de una lancha, cuerda y por lo menos dos salvavidas.
10. El trabajador debe vacunarse contra el tétano, fiebre tifoidea y otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades de Alejandro Roca. Es obligatorio someterse a un chequeo médico anual que incluya análisis para infecciones de parásitos.
11. Todos los trabajadores deben recibir capacitación periódicamente en primeros auxilios, seguridad y salud ocupacional.

6.6.2 Elementos de protección personal

Los elementos de protección personal (EPP) son un mecanismo de control para la reducción de riesgos y se los define como cualquier elemento que utilice el operador para que le proteja de determinados riesgos que amenacen su seguridad o salud en el trabajo.

Estas protecciones individuales no eliminan el riesgo de accidente, sino que su utilidad se basa en reducir o eliminar las consecuencias de las lesiones que produce un accidente en el trabajador. Poseen una gran rentabilidad ya que presentan una alta eficiencia en relación a su bajo costo, siempre y cuando su uso sea adecuado y correcto.

Los EPP son herramientas o indumentaria que no deben interferir en los movimientos cotidianos de los trabajadores dificultando su trabajo y representando un nuevo riesgo (SENASBA, 2019). Entre los EPP recomendados para los operadores de la planta de tratamiento se encuentran:

- Botas
- Guantes
- Casco
- Lentes de seguridad
- Ropa de trabajo con cintas refractarias
- Máscara

6.6.3 Riesgos

La exposición a aguas crudas residuales durante la operación de la planta de tratamiento puede acarrear enfermedades por la presencia de patógenos en las mismas, la principal ruta de exposición es por ingestión (SENASBA, 2019). En la tabla a continuación (Tabla XLVI), se recomiendan acciones preventivas y correctivas frente a los riesgos sanitarios.

Tabla XLVI. Acciones preventivas y correctivas frente a riesgos sanitarios.

Acciones preventivas	Acciones correctivas
Renovar sus vacunas. Lavarse correctamente las manos antes de comer, y luego de trabajar.	En caso de contacto con: Piel: uso de gel antibacterial y limpieza con agua y jabón.

<p>Utilizar calzado y ropa técnica que cubran las zonas expuestas.</p> <p>Emplear guantes de látex y mascarillas desechables, como también lentes transparentes.</p> <p>Evitar el contacto de sus manos con ojos, boca y nariz.</p> <p>No ingerir o consumir bebidas y/o alimentos en zonas operativas.</p> <p>No fumar en las inmediaciones de la planta.</p> <p>Depositar los elementos descartables en reservorios cerrados.</p> <p>Procurar lavar y desinfectar periódicamente su ropa de trabajo.</p> <p>Ducharse al finalizar su turno.</p> <p>Informar con premura de cualquier enfermedad o lesión, comuníquelo a su médica que usted trabaja en una planta de tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>Herida abierta: limpiar y desinfectar, consultar a un médico.</p> <p>Ojos: enjuagar con abundante agua limpia, y consultar a un médico.</p> <p>Oído interno: consultar a un médico.</p> <p>Ingestión: consultar a un médico con celeridad.</p>
---	---

La degradación de materia orgánica en medio anaeróbicos (como ocurre en la primera laguna del tren propuesto) puede producir la liberación de gases tóxicos como ácido sulfhídrico (olor a huevo podrido) y metano (disminuye la cantidad de oxígeno disponible), que es inoloro a bajas concentraciones. Se recomienda aplicar las acciones propuestas en la tabla siguiente (Tabla XLVII).

Tabla XLVII. Acciones preventivas y correctivas frente a riesgos con gases tóxicos.

Acciones preventivas	Acciones correctivas
<p>Utilizar un equipo portátil de medición de gases tóxicos.</p> <p>En caso de haber una elevada concentración estos gases utilizar máscaras con filtro adecuados (carbón activado).</p>	<p>En caso de exposición a gases:</p> <p>Frente a niveles bajos de exposición ($H_2S > 20$ ppm, $O_2 < 18\%$) llevar a la víctima a un lugar fresco y ventilado, consultar a un médico.</p> <p>Frente a niveles altos de exposición ($H_2S > 50$ ppm, $O_2 < 16\%$) realizar respiración artificial si no respira, buscar atención médica urgentemente.</p>

Otro factor a tener en cuenta que ya ha sido mencionado en este manual, es el control sobre el crecimiento de mosquitos, su desarrollo es directamente proporcional al crecimiento

de malezas en los bordes de las lagunas (Environmental Protection Agency, 2011). Estos insectos pueden ser vectores de transmisión de enfermedades como malaria y filariasis, se recomienda realizar un correcto mantenimiento de los estanques y fumigar en casos extremos.

Otro riesgo ocasional es la caída de escaleras, estructuras y/o resbalarse en los taludes de las lagunas, con posibilidades de fracturas, lesiones, ahogamiento y muerte; seguidamente en la Tabla XLVIII, se encuentran acciones preventivas y correctivas frente a estos riesgos.

Tabla XLVIII. Acciones preventivas y correctivas frente a riesgos de caídas.

Acciones preventivas	Acciones correctivas
Si se realizan trabajos en altura se recomienda asegurar al operador con arnés de seguridad y línea de vida. Usar chaleco salvavidas en caso necesario. Trabajar en equipo.	En caso de caída: Con golpe severo: consultar a un médico. Con fractura, pérdida de conciencia y/o sangrado: llamar a emergencias y aplicar primeros auxilios. En agua sin pérdida de conciencia: Desinfección del cuerpo y consultar a un médico En agua con pérdida de conciencia: llamar a emergencias y aplicar primeros auxilios.

7 Estudio de impacto ambiental

En este capítulo se desarrollará el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) conforme lo establece la Ley Provincial N°10.208: “Política Ambiental Provincial”, en su art. 16, según el Anexo II de dicha ley y la Ley Provincial N°7.343 en su art. 49.

El EslA se define como el estudio técnico de carácter interdisciplinario que tiene como objetivo predecir, identificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que puede producir un proyecto en la calidad de vida del hombre y el ambiente. El mismo, forma parte del procedimiento técnico-administrativo denominado Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Ley N°10.208, 2014).

Este proyecto se encuentra enmarcado dentro de los Proyectos de Infraestructura y Equipamientos: Equipamientos Ambientales, en el Anexo II de la Ley Provincial N°10.208: Proyectos obligatoriamente sujetos a presentación de aviso de proyecto y condicionalmente sujetos a presentación de estudio de impacto ambiental.

7.1 Marco legal e Institucional

Para realizar este informe conforme la normativa establecida en nuestro país, se presenta a continuación las normas en las que se ampara este proyecto. Incluyendo el marco normativo nacional y provincial en el cual se realiza este estudio de impacto ambiental.

7.1.1 Normativa Nacional

- Artículos 41, 42 y 124 de la Constitución Nacional
- Ley 25.675: Ley General del Ambiente
- Ley 25.612: Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios
- Ley N°25.688: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas
- Ley N°24.557: Ley de Riesgos de Trabajo
- Ley N°25.831: Ley de Información Ambiental

7.1.2 Normativa Provincial

- Artículos 11, 66, 68 de la Constitución de la Provincia de Córdoba
- Ley N°5.589: Código de Aguas
- Ley N°10.208: Política Ambiental Provincial
- Ley N°7.343: Principios Rectores Para la Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente
- Ley N°8.936: Conservación y la Prevención de Degradación de Los Suelos
- Decreto 247/2015: Reglamentación de Arts. 42, 43 Y 44 del Capítulo VII Y Arts. 49 Y 50 del Capítulo IX de la Ley N° 10.208
- Decreto 248/2015: Reglamentación del Art. 45 de Ley N° 10.208

- Decreto 847/16: Estándares y Normas Sobre Vertidos Para la Preservación del Recurso Hídrico Provincial
- Decreto N° 288/15: Seguro Ambiental

7.1.3 Entes provinciales

- Ministerio de Servicios Públicos
- Administración Provincial de Recursos Hídricos
- Secretaría de Ambiente y Cambio Climático
- Dirección de Policía Ambiental

7.2 Datos del proponente y del responsable profesional.

Organismo Solicitante

Secretaría de Ambiente y Cambio Climático. Gobierno de la Provincia de Córdoba.
Dirección: Richieri 2187, Córdoba
Tel: (0351) 434-3310 int. 116 / (0351) 434-3312

Proponente (responsable legal)

Ing. Santiago Luquez.
Dirección: Carlos Rochas 152, Alejandro Roca, Córdoba
Tel: 0358 -508-1258
E-mail: ingsluquez@gmail.com

Actividad principal de la empresa u organismo

Elaboración de bioetanol a base de maíz

Responsable profesional y/o consultor

Ing. Patricio Luis Geretto
Dir: 25 de mayo 1232, La Carlota, Córdoba
Tel.: 0358-428-1288
Email: patriciogeretto@gmail.com
N° Registro Temático de Consultores Ambientales: 1.256

7.3 Proyecto

Se entiende por proyecto a la propuesta de la planta de tratamiento de efluentes de la empresa CORNOL presentada en este documento. El mismo posee una superficie aproximada de 8 hectáreas y su encuentra localizado en la ciudad de Alejandro Roca, departamento de Juárez Celman, a 305 km de Córdoba capital.

Para la realización de este proyecto se considerarán las siguientes etapas:

- Idea, prefactibilidad, factibilidad y diseño
- Concreción, construcción o materialización
- Operación de las obras o instalaciones
- Clausura o desmantelamiento
- Auditoría de cierre
- Estudios de impacto ambiental posclausura.

La obra consistirá en la construcción de un sistema de tratamiento de efluentes basado en lagunas de estabilización y unidades accesorias, para favorecer el vertido del efluente generado en la planta CORNOL según lo indica el Decreto 847/16 en su Anexo.

El sistema posee una capacidad de tratamiento aproximada de 1800 m³/d de efluente líquido, el vuelco del mismo luego de ser tratado será en el Río Cuarto ubicado a 4 km de la planta productora de bioetanol.

Se puede acceder al poblado a través de la ruta nacional N°8, por el norte; el camino de Los Cisnes, por el este; el camino de Huanchilla, por el sur y el camino de Las Acequias, por el oeste.

7.3.1 Nuevo emprendimiento o ampliación

El proyecto constituye un nuevo emprendimiento ya que actualmente CORNOL comparte el tratamiento de sus efluentes líquidos con la empresa lindante y por decisión de los accionistas se decide emplazar un tratamiento propio.

7.3.2 Objetivos socioeconómicos

El objetivo principal del proyecto es tratar los efluentes líquidos que se generan en planta compuesto de tres corrientes; cloacal, blanca y de producción. Existe un remanente de la corriente blanca que será tratado mediante una empresa tercerizada.

La obra permitirá que los efluentes sean volcados al Río Cuarto según lo indica la normativa vigente (Decreto 847/16).

7.3.3 Inversión

La inversión inicial de proyecto asciende a USD 1.741.650 (un millón setecientos cuarenta y un mil seiscientos cincuenta dólares).

Los gastos mensuales alcanzan los USD 120.989 (ciento veinte mil novecientos ochenta y nueve dólares).

7.3.4 Instalaciones

El proyecto contará con las siguientes unidades operativas que permitirán el adecuado tratamiento del efluente de planta:

- Sistema de rejas y tamices

- Equipo de impulsión
- Tanque equalizador y sala de sopladores
- Sedimentador
- Lagunas de estabilización
- Filtros de carbón activado
- Cámara de toma de muestras
- Lechos de secado
- Tanque de almacenamiento de corriente blanca
- Galpón de operación

7.3.5 Etapa de preparación del sitio y construcción

En esta etapa se contemplan las actividades de preparación del sitio previas a la construcción, como también las actividades relacionadas a la construcción misma de la obra, ellas son:

- Preparación del terreno: desmonte, nivelación y despiedre. Colocación del cercado perimetral y forestación.
- Disposición del obrador, almacenamiento y transporte de materiales y construcción de la caseta de operación.
- Construcción de unidades operativas y sus respectivas conexiones (rejas, tamices, bombas, equalizador, sedimentador y filtros de carbón activado)
- Excavación de lagunas, canales y sistemas de interconexión entre las mismas.
- Construcción de lechos de secado.
- Instalación de servicios (gas y agua), tendido de red monofásica y trifásica.
- Generación y manejo de desechos líquidos y sólidos.
- Retiro de los materiales y limpieza del terreno.

En esta etapa se emplearán un total de 39 personas que trabajarán 9 horas diarias de lunes a viernes. En términos de maquinarias se alquilarán una retroexcavadora, una niveladora, dos camiones y un equipo neumático para la compactación. Se proyecta un lapso de 12 meses de duración para esta etapa del proyecto. Al finalizar la obra, todos los caminos y senderos provisorios serán cerrados y restaurados mediante cobertura vegetal o escarificado leve para favorecer una rápida revegetación.

La disposición final y el despacho de combustibles y aceites serán realizados por una estación de servicio local, el mantenimiento liviano de la maquinaria se realizará en pie de obra, contratándose talleres externos en casos de averías graves.

Los residuos sólidos generados durante esta etapa tendrán el siguiente tratamiento:

- Almacenamiento en contenedores con tapa en lugar apropiado y de fácil acceso.
- Recolección diaria en horario regular y transporte.
- Eliminación y disposición final en sitio adecuado.

Las emisiones de material particulado serán reducidas al mínimo utilizando lonas protectoras en los camiones que transporten todo tipo de materiales desde y hacia la zona del proyecto.

En días de lluvias intensas se suspenderán provisoriamente las actividades con el fin de reducir los impactos sobre la superficie.

La velocidad de circulación de los vehículos en el área del proyecto será a paso de hombre (20 km/h) en función de evitar la emisión de material particulado y accidentes.

7.3.6 Etapa de operación y mantenimiento

Por la capacidad de ampliación y refuncionalización del sistema, se estima que la etapa de operación y mantenimiento se extienda como mínimo 20 años. Se consideran las siguientes actividades y procesos que tendrán lugar en la planta de tratamiento:

- Puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de efluentes.
- Realización de tareas de mantenimiento y compra de insumos
- Capacitación del personal.
- Remoción y tratamiento de los lodos de las lagunas.
- Retiro de sólidos de desbaste, lodos y fracción de corriente blanca.
- Posibles ampliaciones y reestructuraciones dentro de la planta.

Durante esta etapa se contará con 2 operarios que trabajarán a tiempo completo de lunes a sábado, un ingeniero ambiental, que trabajará media jornada de lunes a viernes y un técnico químico que realizará los muestreos pertinentes.

Es importante destacar la construcción de nuevas unidades o la implementación de nuevas tecnologías de la planta ya sea por la reglamentación de nuevos límites de vuelco o por el aumento de producción de bioetanol.

Para más información respecto a las actividades a desarrollarse durante esta etapa se recomienda ir a la sección 6, “Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes”.

7.3.7 Etapa de cierre y abandono

En esta última etapa se considera el posible cierre de CORNOL y por lo tanto el cese de operación de la planta de tratamiento de efluentes. Para esta fase se consideran las siguientes acciones:

- Retiro del agua de las lagunas, secado de lodos dentro de la mismas y relleno de los cuerpos de agua con tierra.
- Desmantelamiento del resto de las instalaciones: retiro de materiales y limpieza del terreno.

A su vez se seguirán las recomendaciones establecidas en el “Plan de abandono o retiro”, sección 7.7.4

7.4 Línea de base ambiental

7.4.1 Área de influencia del proyecto

El área de influencia de un proyecto está determinada en su totalidad por el área de influencia directa (AID) e indirecta (All) del mismo.

7.4.1.1 Área de influencia directa

El AID corresponde a la zona donde se emplazarán todas las obras del proyecto, en ella se manifiestan los impactos ambientales directos, aquellos que ocurren en el mismo lugar donde se realizó la acción generadora del impacto ambiental.

Por lo tanto, se considera como AID el área puntual en donde se desarrolla el proyecto y un margen determinado por factores ambientales. Abarca las unidades operativas, incluyendo las lagunas de tratamiento, la totalidad de la planta de CORNOL y alrededores (Figura 41). También se considera el impacto directo sobre el Río Cuarto, al volcar los efluentes en el mismo, pero no se lo incluye dentro del AID.

7.4.1.2 Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta corresponde a las zonas que podrían ser afectadas por las obras o actividades del proyecto, incluso cuando no son parte del área de emplazamiento del mismo. En esta zona se manifiestan aquellos impactos que ocurren en un sitio diferente a donde se produjo la acción generadora del impacto en sí y a su vez los impactos pueden manifestarse en un tiempo diferido en relación al momento que se produjo la acción generadora.

Para definir el All se seleccionó la ciudad de Alejandro Roca y una parte del curso del Río Cuarto, aunque si el efluente no es volcado en las condiciones normadas el impacto podría ocurrir aguas más abajo (Figura 41). Se considera también el centro más densamente poblado de la zona, ya que se contratará mano de obra para las 3 etapas consideradas en este proyecto, siendo éste La Carlota.

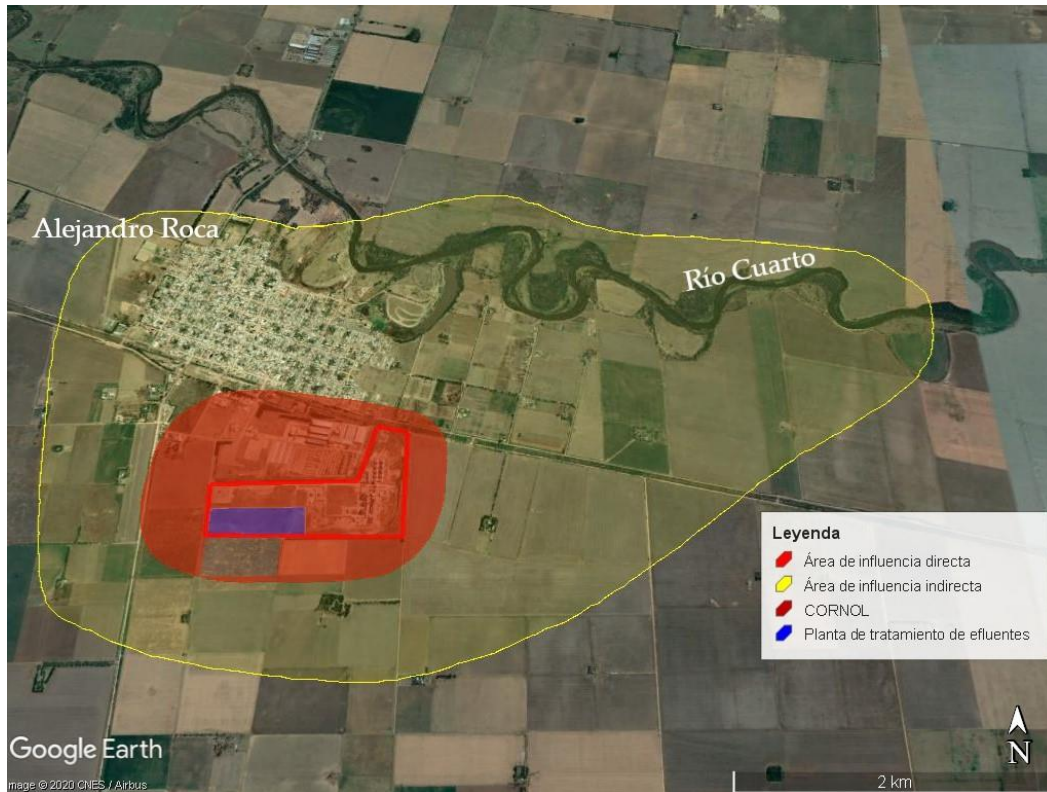


Figura 41. Delimitación del área de influencia, directa e indirecta.

7.4.2 Medio físico

El proyecto se encuentra ubicado dentro de la ecorregión denominada Espinal, más específicamente dentro de la región natural denominada Pampa Arenosa Alta (Anexo: Figura 54), que se ubica entre los 32° 45' y los 33° 50' de latitud sur y desde los 63° 45' y los 65° 07' de longitud oeste, la misma abarca una superficie aproximada de 8.000 km² (Agencia Córdoba, 2003)

7.4.2.1 Clima

El clima de la zona es continental estacional, con precipitaciones medias anuales entre 800 y 850 mm, el 50% de la precipitación anual ocurre en verano, 30% en otoño y 16% en primavera (Figura 42). Las temperaturas anuales medias, máxima media y mínima media son 16,6, 22,6 y 11°C respectivamente. La velocidad media anual del viento es de aproximadamente 15,65 km/h (Morello, Matteucci, Rodríguez, Silva, & Haro, 2012) con sentido norte-sur.

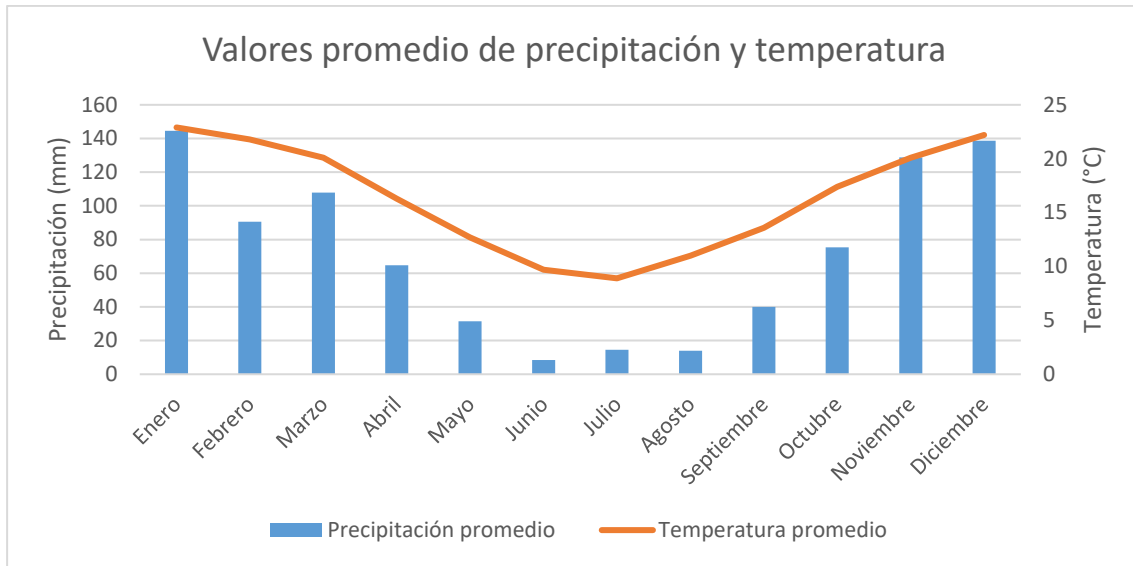


Figura 42. Valores promedio de precipitación y temperatura para la estación Río Cuarto AERO del SMN (1981-2010) ubicada a 60 km de Alejandro Roca. Fuente: Elaboración propia a partir de: https://datos.gob.ar/dataset/smn-estadisticas-climaticas-normales/archivo/smn_8.1

7.4.2.2 Geomorfología e hidrología

La Pampa Arenosa Alta es una llanura que suaviza gradualmente su altura desde los 600 msnm en el área del piedemonte hasta los 150 msnm cuando comienza la Pampa Arenosa Anegable, en la ciudad de Alejandro Roca alcanza una altura aproximada de 208 msnm (Agencia Córdoba, 2003).

El relieve que domina en la región es de lomadas con suaves ondulaciones, donde se destacan como patrones recurrentes médanos estabilizados que conforman también hoyas medanosas con orientación Noroeste-Sudoeste, como consecuencia de los vientos predominantes. En estas cubetas originadas por erosión eólica pueden originarse charcas que se alimentan de la napa freática generando salinización en algunos suelos de la zona (Agencia Córdoba, 2003). Entre esta serie de lagunas se destaca la Reserva Natural de Fauna “Laguna La Felipa” creada en 2011, y se encuentre a 30 km al Noreste de la locación del proyecto.

El sector se encuentra modelado por ríos y arroyos, siendo el más importante el Río Cuarto o Chocancharava, que puede producir inundaciones en la cuenca alta y media si las lluvias superan los 130 mm, esto se debe principalmente a la deforestación, el uso del fuego y la extracción de áridos del río. El mismo transporta grandes cantidades de sedimentos provenientes de las sierras Comechingones (Morello, Matteucci, Rodríguez, Silva, & Haro, 2012). Esta subcuenca, denominada Cuarto-Saladillo (Figura 43), del río Carcarañá, que finalmente desemboca en el Paraná; es utilizada para abastecimiento de agua potable y abarca una totalidad de 41.100 km². En la cuenca media el Río Cuarto se comporta como un río de llanura originando meandros y acantilados hasta desembocar en los bañados del río Saladillo (Díaz Lozada, 2019).

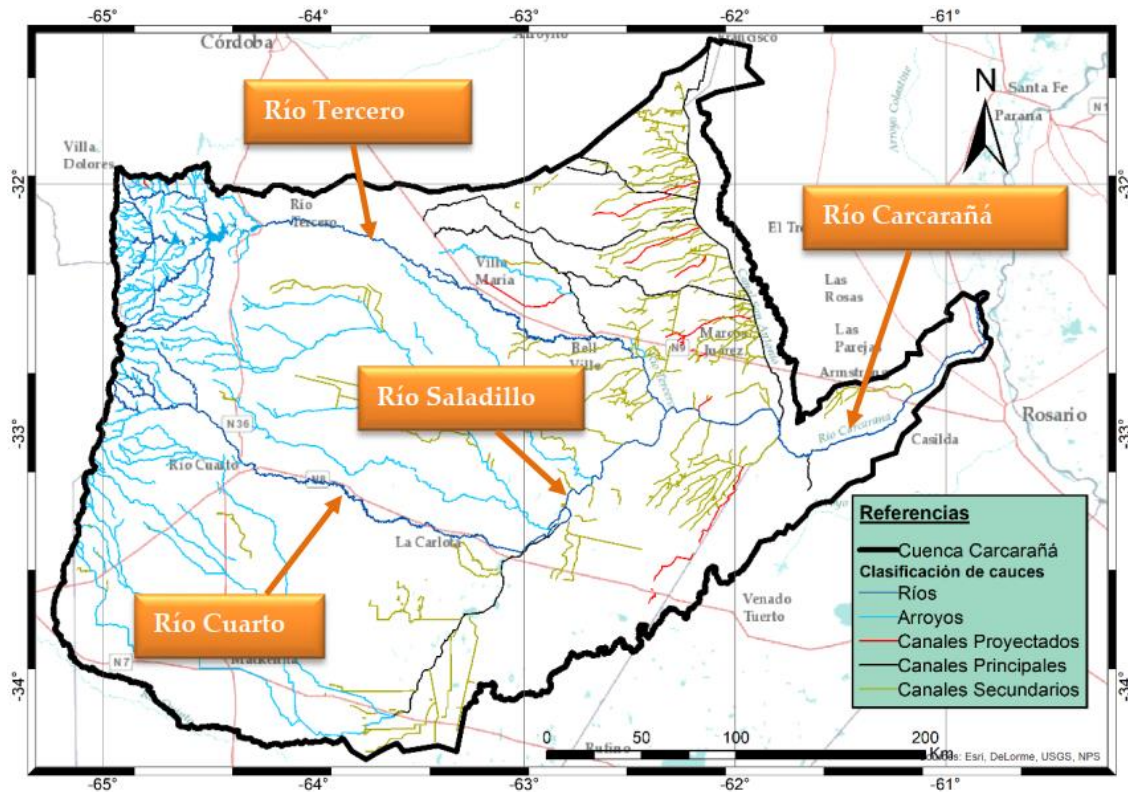


Figura 43. Cuenca del Río Cuarto-Saladillo. Fuente: Díaz Lozada, 2019

El caudal de ambos ríos es muy cambiante ya que no presentan ninguna obstrucción construida por el hombre, como es el caso de los ríos más importantes de la provincia. El Río Cuarto posee un período de estiaje de mayo a septiembre, con caudales de $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$, y de aguas altas de octubre a abril, con crecidas que alcanzan valores de 120 a $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rodríguez, Manicni, & Ferrero, 2002).

En el año 2019, aguas abajo de la estación depuradora de efluentes cloacales de la ciudad de Río Cuarto, se detectaron valores de coliformes termotolerantes y *E. Coli* que superaban ampliamente los establecidos por la normativa, lo mismo sucedía con el nitrógeno amoniacal (Ministerio de Servicios Públicos, 2019).

7.4.2.2.1 Aguas subterráneas

El acuífero libre que se encuentra en la zona de Alejandro Roca ésta compuesto por arenas y gravas de la Formación Chocancharava con espesores entre 20 y 40 metros, a una profundidad aproximada entre los 35 y 40 metros, el agua dulce del acuífero permite caudales de explotación de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ (Blarasín, Cabrera, & Matteoda, 2014).

A mayor profundidad (180m) es posible encontrar acuíferos confinados separados por arcillas pertenecientes a la Formación Tigre Muerto, el confinamiento permite la surgencia de los pozos como es el caso de Río Cuarto o semisurgentes como en Las Acequias.

Un estudio realizado en la estación experimental del INTA en La Carlota, entre diciembre de 2016 y septiembre de 2018 (Figura 44) establece una clara relación entre el acumulado

mensual de precipitaciones y el nivel freático, obteniéndose un promedio de 2,25 metros en la primavera de 2018.

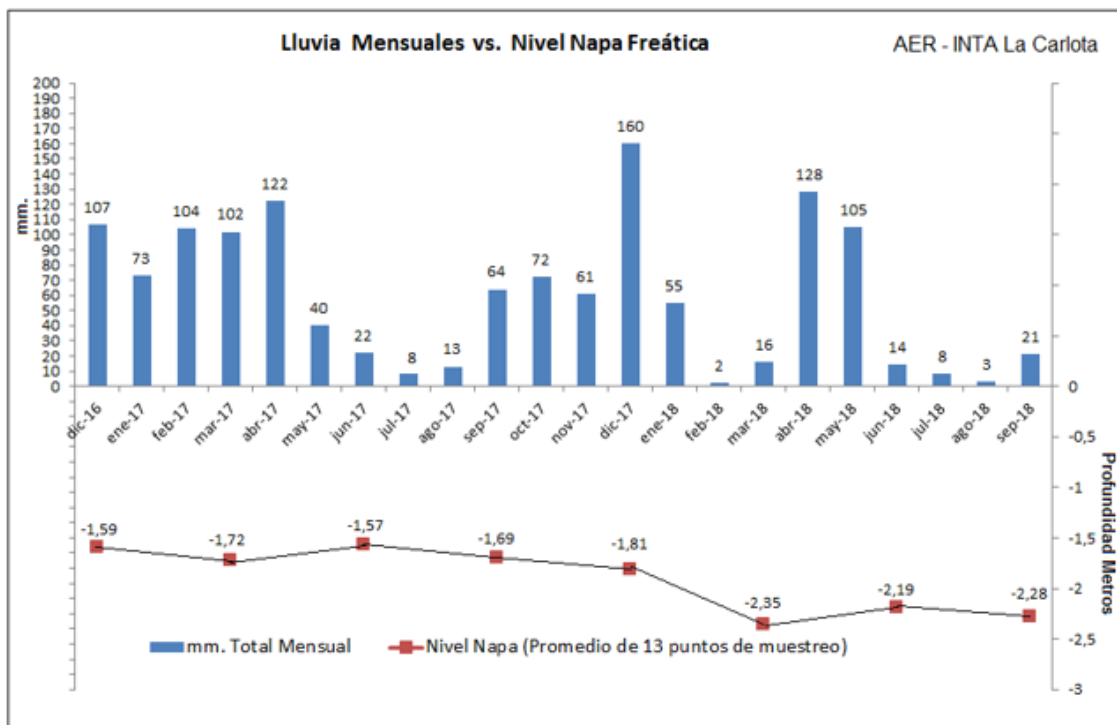


Figura 44. Comparación entre las lluvias mensuales y nivel freático en 13 puntos de muestreo en la ciudad de la Carlota ubicada a 30 km de Alejandro Roca. Fuente: <https://inta.gob.ar/documentos/nivel-de-napas-en-la-zona-de-la-aer-inta-la-carlota-dic16-sep18>

7.4.2.3 Edafología

Los materiales originales de los suelos son predominantemente de origen eólico y poseen una textura franco arenosa en superficie, con un drenaje bueno a excesivo (Agencia Córdoba, 2003). La parcela donde se desarrollará la planta de tratamiento se clasifica en aptitud de uso como clase Illes, siendo éste un suelo profundo (más de 100 cm), susceptible a erosión, principalmente hídrica (Violini, 2016)

El suelo es Haplustol Típico (Anexo: Figura 55) y corresponde al orden de los molisoles y es apto para uso agrícola. La zona presenta áreas desmontadas con baja cobertura vegetal, con relieve ligeramente ondulado y remanentes de vegetación degradada por sobrepastoreo. Presenta un escurrimiento moderado a rápido y una pendiente de 1%, son susceptibles a sufrir estrés hídrico durante las sequías por su moderada retención de humedad (Panigatti, 2011). El índice de productividad del suelo es de 36 siendo 100 el máximo, y no presenta salinidad ni alcalinidad en superficie.

7.4.2.4 Sismicidad

Gran parte de la provincia de Córdoba se encuentra en la franja de sismicidad de nivel 1 según indica el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), esto significa que la sismicidad, a pesar de ser frecuente, es de baja magnitud (generalmente menor a 5,5 en la escala de Mercalli) y superficial, donde la región más activa de la provincia se encuentra en las

serranías (Anexo: Figura 56). En el área donde se emplazará el proyecto se registran en promedio 9 microsismos por año (Agencia Córdoba, 2003).

7.4.3 Medio Biológico

7.4.3.1 Flora

Las actividades agrícola-ganaderas que predominan en la zona de emplazamiento del proyecto modificaron rotundamente el paisaje original del territorio, el mismo se componía de bosques y pastizales naturales característicos del espinal.

A pesar de las modificaciones antrópicas que acarrearán la intensificación de la erosión laminar y la formación de cárcavas, como también la degradación del suelo (Agencia Córdoba, 2003); aún existen relictos de bosques xerófilos nativos en las márgenes de los cuerpos de agua, y en los altos medanosos, como pueden ser talas (*Celtis ehrenbergiana*), chañares (*Geoffroea decorticans*), espinillos (*Acacia caven*) y moradillos.

El pastizal original de la zona que persiste inmerso entre una matriz de cultivos de maíz, soja y maní, se caracteriza por especies de los géneros *Poa* y *Distichlis*. Éste también se encuentra en las depresiones con anegamientos temporarios y permanentes con suelos salinos y alcalinos no aptos para la agricultura (Morello, Matteucci, Rodríguez, Silva, & Haro, 2012).

7.4.3.2 Fauna

Al ser un proyecto ubicado en un área antropizada, la fauna se encuentra muy reducida, pero en las lindes de la ciudad y los campos aledaños pueden encontrarse ejemplares de zorrinos, hurones, pumas, entre los principales mamíferos carnívoros. En cuanto a los herbívoros se destacan la liebre europea, el jabalí, la vizcacha y el cuis (Burkart, Barbaro, Sánchez, & Gómez, 1999).

Una gran variedad de aves habita en la zona como por ejemplo perdices, palomas, horneros, tordos, crespinos, lechuzas, carpinteros, catitas, jilgueros, golondrinas, chingolos, calandrias y teros. A su vez, pueden encontrarse reptiles como víboras, boas, iguanas y lagartos; entre los anfibios se hallan especímenes de ranas y sapos.

7.4.4 Medio socioeconómico e historia

En este punto se describirá el medio antrópico circundante, considerando distancias a centros poblados, población, calidad de vida, estructura socio económica, actividades, medio construido, usos del espacio, asentamientos humanos, valores culturales, otros.

7.4.4.1 Historia y Población

La ciudad de Alejandro Roca es fundada, según sus pobladores, el 17 de marzo de 1905. Se eligió esta fecha ya que el Poder Ejecutivo de la Provincia concedió al pueblo los beneficios fiscales que acuerda la Ley de Colonización dictada el 23 de octubre de 1896.

Lleva el nombre del primer propietario de las tierras, que fueron adquiridas en un remate en el año 1874, siendo su hermano menor, el General Julio Argentino Roca, el heredero de las mismas. Este último, aprueba el loteo y la venta de escrituras conformándose una colonia

compuesta por chacras, solares y quintas, siendo la estación de ferrocarril Alejandro Roca el edificio principal del territorio, perteneciente a la línea ferroviaria Buenos Aires–Rosario.

Según se puede apreciar en la Figura 45, la población de Alejandro Roca asciende a 6000 personas según estimaciones realizadas por la municipalidad en 2019 y la cantidad de habitantes aumenta progresivamente desde el censo de 1991.

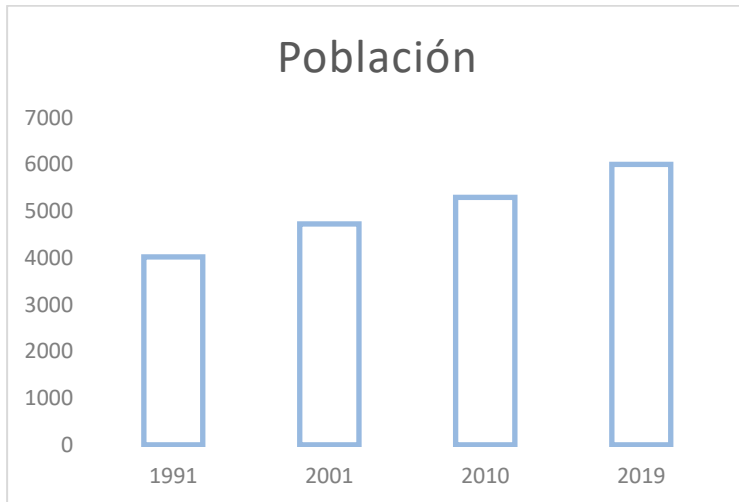


Figura 45. Población de la ciudad de Alejandro Roca. Fuente: INDEC, 2010.

A continuación, se transcriben los datos más representativos de la ciudad de Alejandro Roca extraídos de la página oficial de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos, para el relevamiento realizado en 2010.

- Total de hogares: 1741
- Total de hogares con al menos una necesidad básica insatisfecha (NBI): 5,7%
- Total de varones: 2646
- Total de mujeres: 2748
- Población de 0 a 14 años: 25,3%
- Población de 15 a 64 años: 62,1%
- Población mayor a 65 años: 12,7%
- Población de 10 años o más alfabetizada: 98,3%

7.4.4.2 Actividad económica

La principal actividad económica de la zona es la agricultura y en menor medida la ganadería. Entro los principales cultivos de la zona, como se observa en la Figura 46, se

destacan el maíz, la soja, el maní, el sorgo y pasturas implantadas.



Figura 46. Uso del suelo en los alrededores de la ciudad de Alejandro Roca. Fuente: <https://gn-idecor.mapascordoba.gob.ar/maps/24/view>

El asentamiento de industrias vinculadas con estos cultivos permitió el desarrollo de la ciudad aportando grandes inversiones de capital y fuentes de trabajo, entre los establecimientos más importantes se destacan la propia CORNOL, Aceite General Deheza (AGD) y Golden Peanut Argentina S.A.

7.4.4.3 Servicios e infraestructura

La ciudad cuenta con los principales servicios entre los cuales se incluye teléfono, gas, agua corriente e internet. La construcción de la planta de efluentes cloacales que finalizará en los últimos meses de 2020, permitirá la conexión a la red cloacal ya existente.

Posee un Hospital Municipal y diversos centros médicos privados de pequeña escala. Entre las instituciones educativas dentro de la localidad es posible encontrar dos jardines de infantes, seis escuelas primarias, un centro de enseñanza primaria para adultos y tres colegios secundarios.

7.5 Identificación y valoración de impactos ambiental

En este apartado se identificarán los efectos sobre el ambiente y luego se valorarán, obteniendo los principales impactos que producirá el establecimiento del tren de tratamientos de efluentes de la planta CORNOL en Alejandro Roca, Córdoba. Se considerará el área de influencia tanto directa e indirecta para analizar los efectos, que se producirán durante las distintas etapas que atraviese el proyecto; construcción, operación y mantenimiento, como también cierre.

Para la identificación de los efectos, se parte del conocimiento de las acciones de cada una de las etapas que componen el proyecto explicadas en el apartado 7.3. También es importante

el estudio del medio para obtener los factores determinantes, tópico relevado en la sección 7.4.

7.5.1 Metodología

La mejor herramienta para determinar los impactos es una matriz de causa-efecto, conocida como Matriz de Leopold, desarrollada en 1971. En la misma cada elemento ambiental corresponde a una fila y cada acción del proyecto a una columna, cada causa del proyecto se relaciona con un factor ambiental sobre el que actúa, produciendo un impacto (Garmendia Salvador, Salvador, Crespo, & Garmendia, 2005).

Inicialmente se identificaron los factores ambientales que se dividieron en medio físico, medio biótico y medio socioeconómico. A su vez mediante el conocimiento del proyecto se reconocieron las acciones que pueden generar un posible efecto sobre el entorno, teniendo en cuenta las tres etapas que atravesará el proyecto: preparación del sitio y construcción, operación y mantenimiento, cierre o abandono.

A continuación, se realizó una valoración cualitativa de los efectos para disminuir la subjetividad de su interpretación. A pesar de ser una valoración cualitativa como resultado final se obtiene un valor numérico, ya que lo que se analiza de cada efecto son una serie de cualidades, asignando valores prefijados dependiendo de si esa cualidad es baja, media o alta. La suma de estas características permite obtener la importancia de cada efecto, ahora impactos, sobre el medio. Esta importancia mide la trascendencia de la acción sobre el factor alterado (Garmendia Salvador et al., 2005).

Para la valoración se tienen en cuenta los siguientes aspectos de cada efecto:

- Signo: puede ser negativo o positivo dependiendo según el efecto sea beneficioso o perjudicial.
- Intensidad (I): determina el grado de destrucción del factor ambiental se clasifican los impactos en total, si la destrucción del factor es completa, muy alta, alta, media y baja.
- Extensión (EX): identifica la superficie afectada por el efecto relevado, la misma puede ser puntual, parcial, extensa, total, crítica.
- Momento (MO): refiere al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor del medio considerado. Considera cuando el tiempo transcurrido es nulo, inmediato (si ocurre antes del año), entre 1 y 5 años, o si tarda más de 5 años en manifestarse.
- Persistencia (PE): alude al tiempo de permanencia del impacto en el entorno una vez generado. Clasifica los efectos como fugaces (menos de un año), temporales (entre 1 y 10 años) o permanentes (más de 10 años).
- Reversibilidad (RV): expone la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, de retornar a las condiciones iniciales del mismo, por medios naturales, cuando el efecto desaparezca. Puede ser de corto plazo (reversible en menos de 2 años), medio plazo (entre 2 y 10 años) o irreversible, si nunca volverá a la forma inicial.
- Sinergia (SI): distingue el reforzamiento entre dos o más efectos simples, considerando que pueden no tener sinergismo, ser sinérgicos, o muy sinérgicos.

- Acumulación (AC): fenómeno mediante el cual los efectos son incrementales progresivamente. Pueden ser simples o acumulativos.
- Efecto (EF): determina si el efecto es directo o indirecto, será directo si la acción tiene un efecto inmediato sobre el factor ambiental, como puede ser el aumento de turbidez de un río por el movimiento de tierra y será indirecto si la causa se encuentra en las interdependencias.
- Periodicidad (PR): es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo, calificándose como irregular, periódico o continuo.
- Recuperabilidad (MC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana. Identifica si el efecto es recuperable inmediatamente, si es recuperable, pero a lo largo de un período de tiempo. Puede ser también mitigable, es decir recuperable en forma parcial o irrecuperable.

Mediante la siguiente ecuación se expresa la importancia numérica de cada impacto:

$$I = +/-(3i + 2EX + MO + PO + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (138)$$

Donde cada aspecto posee un valor prefijado según su categoría como se observa en la Tabla LIV ubicada en el anexo.

En la matriz de impactos (Tabla L) se realizó un promedio por filas para poder identificar aquellas componentes ambientales mayormente afectadas, como también un promedio por columnas para determinar que acciones del proyecto poseen el impacto más negativo sobre el entorno.

Los impactos positivos figuran en verde, y no son valorizados, ya que el objetivo de este Estudio de Impacto Ambiental es identificar y valorizar aquellos que son negativos para poder mitigarlos.

En la Tabla XLIX, se encuentra el código de colores para interpretar correctamente la matriz de impactos, es importante destacar que en los promedios por componente ambiental y por actividad no se respeta la escala cromática mencionada.

Tabla XLIX. Clasificación por colores de los distintos impactos según su magnitud.

Valores	Tipo
Positivos	Positivo
Mayor a -51	Leve
Entre - 51 y -80	Medio
Menor a -80	Alto

Tabla L. Matriz de impactos.

Componente ambiental	Elemento	Preparación del sitio y construcción								Operación y mantenimiento					Cierre		Promedio por componente ambiental		
		Preparación del terreno: desmonte, nivelación y despiebre.	Disposición del obrador, almacenamiento y transporte de materiales y construcción de la caseta de operación	Construcción de unidades operativas y sus respectivas conexiones	Excavación de lagunas, canales y sistemas de interconexión entre las mismas	Construcción de lechos de secado	Instalación de servicios (gas y agua), tendido de red monofásica y trifásica	Generación y manejo de desechos líquidos y sólidos	Retiro de los materiales y limpieza del terreno	Puesta en marcha y operación de la planta de tratamiento de efluentes	Realización de tareas de mantenimiento y compra de insumos	Capacitación del personal	Remoción y tratamiento de los lodos de las lagunas	Retiro de sólidos de desbaste, lodos y fracción de corriente blanca	Retiro del agua de las lagunas, secado de lodos dentro de la mismas y relleno de los cuerpos de agua con tierra	Desmantelamiento del resto de las instalaciones: retiro de materiales y limpieza del terreno		Actividades de restauración	
Medio Físico	Aire	Calidad	-40	-55	-34	-48	-42	-26	-28	-53			-34	-28	-55	-53		-41	
		Ruido	-55	-40	-34	-63	-28		-25	-47	-10	-15		-31	-31	-60	-47		-37
	Agua	Superficial	-39	-36	-29	-39	-36	-21	-42	-21	-25		-25	-36	-29	-21		-31	
		Subterránea				-52	-38		-20		-26		-38					-35	
	Suelo	Compactación	-48	-42	-40	-63	-42	-24	-32	-48			-22	-32	-60	-48		-42	
		Calidad	-50	-37	-37	-50	-44	-24	-32	-41	-17		-39	-32	-45	-41		-38	
Medio Biótico	Flora	-59	-38	-38	-59	-45	-21	-33	-24	-26	-21	-21	-21	-28	-24		-33		
	Fauna	-53	-37	-37	-59	-45	-18	-42	-32	-22	-18		-33	-27	-48	-32		-36	
Medio socioeconómico y cultural	Población	Salud	-23	-16	-19	-32	-19		-26				-39	-21				-24	
		Empleo																	
		Educación																	
	Recursos y servicios	Combustibles fósiles, agua e insumos	-36	-33	-21	-54	-39	-18	-20	-18	-24	-29	-24	-29	-29	-59	-26		-31
		Economía local																	
	Paisaje	-35	-35	-23	-59	-35	-17	-35	-27			-27	-31	-25	-38	-27		-32	
	Promedio por actividad	-44	-37	-31	-53	-38	-21	-30	-35	-21	-21	-26	-31	-28	-47	-31			

7.5.2 Descripción de los impactos ambientales

El análisis de la matriz de impactos confeccionada se realizará según las 3 etapas identificadas en las cuales se desarrollará el proyecto.

Los componentes ambientales más afectados por el establecimiento del tratamiento de efluentes de la planta CORNOL son el aire y el suelo, principalmente su calidad y la compactación de este último.

7.5.2.1 Etapa de preparación del sitio y construcción

Esta etapa es la que mayor impactará sobre el entorno, principalmente por el uso de maquinaria pesada y la modificación del terreno, siendo la excavación de las lagunas y la interconexión entre las mismas la actividad del proyecto que mayor impacto genera en el ambiente.

La calidad de aire se verá afectada principalmente por el manejo de materiales en las actividades de construcción y por la remoción de grandes volúmenes de tierra para la excavación de las lagunas, donde los polvos generados son susceptibles a la dispersión en los ambientes aledaños. También es importante considerar el uso de camiones en los procesos mencionados para transportar los materiales necesarios, los vehículos emitirán emisiones gaseosas asociadas a los procesos de combustión. Además, el manejo de maquinarias en las tareas provocará la generación de ruidos, aumentando el sonido de fondo de los ambientes naturales.

El suelo es el factor más afectado durante todo el ciclo de vida del proyecto y fundamentalmente en esta etapa, cuando se habla de suelo se hace referencia a la calidad y a su compactación. Las mismas se verán perjudicadas de forma irreversible durante la etapa de construcción, debido a que todas ellas implican un cambio en el uso de suelo, levantamiento, nivelación, excavación y construcción sobre el mismo. De esta forma se daña la composición original, como también características como el drenaje, uniformidad y humedad.

Respecto al componente calidad del agua superficial y subterránea, para la etapa de construcción, existen impactos medios debido a las afectaciones durante la excavación y la colocación de estructuras que pueden afectar la escorrentía superficial.

La salud de los trabajadores se verá afectada principalmente por las partículas de polvo que se emitirán de manera continua en la obra por los movimientos de tierra y materiales de construcción diversos.

Asociados al movimiento de suelos y la ocupación de los mismos, ya sea con estructuras, cambio de la cobertura original y construcción de los cuerpos de agua, se producirá un efecto en la vegetación localizada en el área de influencia, así como también en la flora más alejada pero susceptible a los cambios de calidad de aire y movimiento de suelos. De igual modo, la fauna silvestre, aunque reducida, sufrirá la pérdida de hábitat por la localización del proyecto,

lo cual puede afectar significativamente su comportamiento y ciclo de vida por la interacción con el resto de los efectos de las actividades de construcción.

A nivel socioeconómico, las tareas de la etapa de construcción conllevarán la mayor demanda de mano de obra del proyecto(5.1.7), aumentando la generación de empleo y promoviendo también la economía local. La demanda de energía (luz y combustible) aumentará por el manejo de materiales y maquinarias, y la necesidad de redes de infraestructura vial y servicios preexistentes para llevar a cabo la construcción. El paisaje original del terreno será drásticamente modificado por la presencia de nuevas estructuras y grandes espejos de agua.

7.5.2.2 Etapa de operación y mantenimiento

La etapa de operación y mantenimiento es la que menos impactos generará en el ambiente, se destaca el retiro de sólidos de desbaste y la fracción remanente de la corriente blanca por el tráfico de camiones que esta actividad conlleva, considerándose emisiones de gases y material particulado como producto de la combustión.

El movimiento de vehículos en la zona erosionará los estratos superiores, generando una remoción constante, y, a su vez, por el mismo peso de los vehículos se producirá la compactación del suelo.

Tanto el agua superficial y subterránea, como también la calidad del suelo podría verse afectada durante la operación de la planta si existen filtraciones o rotura de equipos permitiendo que el efluente, con altas cargas orgánicas, acceda a estos medios, provocando una alteración de los mismos. Las tareas de mantenimiento propuestas en el Manual de Operación y Mantenimiento, permitirán reparar las averías previamente mencionadas, motivo por el cual se observan impactos positivos en los aspectos aludidos con anterioridad.

La remoción y tratamiento de los lodos podrían acarrear problemas de salud para los operarios si no se toman las medidas pertinentes por el alto contenido de patógenos que poseen. A su vez, existe la posibilidad de que se generen comunidades de insectos y roedores que pueden afectar la dinámica original del sistema.

El factor más importante a destacar es la posible infiltración de los lixiviados por fallas en el sistema de colección que pueden afectar los estratos profundos del suelo como también el agua subterránea.

Durante esta etapa los empleados adquirirán nuevos conocimientos en base a la operación de un sistema de lagunas, como también, recibirán capacitaciones que permitirán llevar a cabo las tareas previstas de la forma más segura y eficiente posible.

La demanda de combustibles fósiles (gas, diésel y naftas) además de los servicios que se consideran agua, luz y gas, se verán afectados por la operación del sistema, aunque en menor medida que la etapa previa considerada en este proyecto.

7.5.2.3 Cierre

En la etapa de cierre, el desmantelamiento de las instalaciones interacciona tanto con el medio físico y el biológico como el socioeconómico. En cuanto al medio físico, la calidad de aire se verá afectada al emitirse gases a la atmósfera debido al uso de vehículos para el transporte y desplazamiento de materiales, a la vez que dicha actividad generará ruidos y polvos. En segundo lugar, se producirán efectos sobre el suelo al transportar y descargar el material removido en su destino final.

En cuanto al medio biológico, la introducción de la maquinaria de gran porte, los niveles de ruido y polvo generados, junto con el cambio en el uso del suelo afectarán a la fauna local, como también lo hará la remoción de la flora por el tráfico.

Finalmente, las interacciones de dicha etapa con el medio socioeconómico son la pérdida de empleo por el cierre de las actividades de la planta y el consumo de recursos y servicios principalmente.

En caso de refaccionarse el sistema de lagunaje para adecuarse a una nueva normativa, al aumento de producción o al tratamiento de un nuevo efluente; se extendería el ciclo de vida del proyecto y se evitarían los impactos contemplados en esta etapa, pero se optó por reflejar la peor situación posible en la matriz de impacto.

7.6 Cálculo del Nivel de Complejidad Ambiental

Según lo establece el artículo 22 de la Ley Nacional 25.675 y el artículo 75 de la Ley Provincial 10.208, se debe calcular el Nivel de Complejidad Ambiental (N.C.A.) del proyecto para determinar si la persona física o jurídica responsable del establecimiento debe pagar un seguro ambiental, siendo necesario cuando el nivel de complejidad supera los 14,5 puntos, el mismo queda definido por la Ecuación (139).

$$NCA_{inicial} = Ru + ER + Ri + Di + Lo \quad (139)$$

Los siguientes ítems son extraídos de la Resolución 1639/2007 del MAyDS.

- Ru (rubro): **valor = 10**
 - Según la Clasificación Internacional de Actividades (CIU), el proyecto en cuestión se encuentra enmarcado en el ítem 90 con CIU igual a 90.020, grupo 3: servicios de depuración de agua residuales, alcantarillado y cloacas.
- ER (efluentes y residuos): **valor = 1**
 - La calidad (y en algún caso cantidad) de los efluentes y residuos que genere el establecimiento se clasifican como de tipo 0, 1, 2, 3 o 4. El proyecto se enmarca en: agua de proceso con aditivos y agua de lavado que no contengan residuos peligrosos o que no pudiesen generar residuos peligrosos (tipo 1).
- Ri (riesgo): **valor = 2**

- Se tendrán en cuenta los riesgos específicos de la actividad, que puedan afectar a la población o al medio ambiente circundante. Se atribuyen riesgos por aparatos sometidos a presión (filtros de CA) y riesgo de incendio.
- Di (dimensionamiento): **valor = 2**
 - La dimensión del establecimiento tendrá en cuenta la dotación de personal, la potencia instalada y la superficie:
 - Cantidad de personal: hasta 15 personas = valor 0
 - Potencia instalada: De 26 a 100, valor = 1
 - Relación entre Superficie cubierta y Superficie total: De 0,21 hasta 0,5, valor = 1
- Lo (localización): **valor = 1,5**
 - La localización del establecimiento, tendrá en cuenta la zonificación municipal y la infraestructura de servicios que posee.
 - Industrial Exclusiva y Rural: valor = 1
 - Infraestructura de servicios faltante: Cloaca, valor = 0,5

El NCA final posee un ajuste por manejo de sustancias particularmente riesgosas en determinadas cantidades (AjSP), en la cual este proyecto se enmarcaría por la presencia de sustancias tóxicas para los organismos acuáticos a largo plazo, adicionando un valor de 2. A su vez, también existe un ajuste por Sistema de Gestión Ambiental establecido (AjSGA), el cual no se encuentra presente, como se observa en la siguiente ecuación:

$$NCA = NCA_{inicial} + AjSP - AjSGA \quad (140)$$

El NCA del proyecto es de 18,5, lo que enmarca al mismo en la segunda categoría según lo indica la Resolución MAyDS N° 481/2011, ésta exige que se debe contratar un seguro ambiental.

7.7 Plan de gestión ambiental

Adecuándose al Decreto 247/2015, reglamentario del art 44 de la Ley N°10.208, se establece un Plan de Gestión Ambiental (PGA). El mismo es un instrumento de gestión ambiental continuo en el tiempo que permite guiar y consolidar un manejo integral del medio por parte del actor que impacte el ambiente. El PGA es el conjunto de procedimientos técnicos que deben formularse a fin de ser implementado durante todas las fases del proyecto. Debe ser dinámico, es decir, actualizarse continuamente para mejorar el desempeño ambiental del proyecto estableciéndose plazos de renovación cada 3 años.

El PGA está conformado por las siguientes partes:

- Plan de Protección Ambiental (PPA)
- Plan de Contingencias Ambientales (PCA)
- Auditorías Ambientales del Plan de Gestión Ambiental (AA-PGA)
- Plan de Abandono o Retiro (PAR)

7.7.1 Plan de Protección Ambiental

El Plan de Protección Ambiental es el conjunto de medidas, acciones y/o recomendaciones con el objetivo de preservar la calidad del ambiente en el área de influencia del proyecto. Esto implica garantizar que la implementación y el desarrollo del proyecto se lleven a cabo de una manera ambientalmente responsable.

Las medidas propuestas por el PPA serán específicas para el contexto ambiental bajo estudio, apuntando concretamente a evitar, reducir o corregir la intensidad de impactos identificados en la matriz de impactos.

A su vez se requerirá la adopción de las recomendaciones y lineamientos mencionados en el Manual Ambiental de obra elaborado por la Municipalidad de Córdoba, siempre que fuera posible.

Medida N° 1	Señalización del área
Impacto	Polvo y Ruido Pérdida de calidad y uso del suelo Pérdida de hábitat terrestre y biodiversidad
Etapas	Preparación del sitio y construcción
Acción del proyecto	Preparación del terreno: desmonte, nivelación y despiedre. Disposición del obrador, almacenamiento y transporte de materiales y construcción de la caseta de operación. Construcción de unidades operativas y sus respectivas conexiones.
Descripción de medida	Sectorizar y organizar los diferentes ambientes dentro de la obra, de acuerdo con su zonificación de uso. Incorporar una adecuada señalización, con avisos de advertencia respecto a riesgos y otros aspectos de ordenamiento operacional y de tránsito.
Tipo	Preventiva
Ubicación espacial	Delimitado por los espacios demarcados en los planos
Responsable de ejecución	Contratista y responsable de higiene y seguridad

Medida N° 2	Aislamiento del área
Impacto	Polvo y Ruido Pérdida de uso de suelo
Fase	Preparación del sitio y construcción
Acción del proyecto	Preparación del terreno: desmonte, nivelación y despiedre Construcción de unidades operativas y excavación de lagunas. Almacenamiento de materiales
Descripción de medida	Colocar cubiertas aislantes o mallas demarcadoras, las mismas deben permanecer perfectamente en condiciones durante el transcurso de las obras.
Tipo	Preventiva

Ubicación espacial	En límites de la obra
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 3	Riego periódico de las inmediaciones de la obra
Impacto	Generación de polvo y emisiones de partículas
Fase	Preparación del sitio y construcción Cierre
Acción del proyecto	Todas aquellas que involucren movimientos de tierra y de maquinaria.
Descripción de medida	Regar periódicamente la zona de la construcción con el fin de evitar el desprendimiento de una gran cantidad de partículas que afectan la calidad del aire, teniendo en cuenta las condiciones climáticas.
Tipo	Preventiva
Ubicación espacial	Área de construcción
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 4	Sobrantes de excavación
Impacto	Generación de polvo y emisiones de partículas
Fase	Preparación del sitio y construcción
Acción del proyecto	Desmonte de la zona y movimiento de tierra Excavación de lagunas, canales y sistemas de interconexión entre las mismas
Descripción de medida	Evitar la acción erosiva del agua y del viento sobre los montículos de tierra excavada, se brindará protección mediante plástico, lonas impermeables o mallas, asegurando su permanencia, o mediante la utilización de contenedores móviles.
Tipo	Preventiva
Ubicación espacial	Zona de almacenamiento de materiales
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 5	Vías de circulación
Impacto	Compactación del suelo
Fase	Todas las fases, con especial énfasis en construcción y cierre
Acción del proyecto	Todas aquellas que involucren la utilización de vehículos y/o maquinaria
Descripción de medida	Proyectar y construir las vías y áreas de circulación desde la fase inicial de la obra. Se deberá minimizar y reducir las áreas afectadas por la compactación.
Tipo	Preventiva
Ubicación espacial	Todo el predio

Responsable de ejecución	Contratista
--------------------------	-------------

Medida N° 6	Taludes intervenidos
Impacto	Calidad y compactación del suelo Emisión de material particulado
Fase	Preparación del sitio y construcción
Acción del proyecto	Excavación de lagunas
Descripción de medida	Asegurar la estabilidad de los taludes intervenidos mediante un adecuado diseño geotécnico, que especifique el diseño de las pendientes, anclajes, barreras contra la erosión, obras de drenaje y siembra de especies. Recuperar de forma inmediata la cobertura vegetal de los taludes.
Tipo	Correctiva
Ubicación espacial	Zona de taludes y desniveles
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 7	Concreto premezclado
Impacto	Ruido Consumo de material
Fase	Preparación del sitio y construcción Cierre
Acción del proyecto	Todas aquellas que involucren la utilización de concreto
Descripción de medida	Usar concretos premezclados en lugar de preparados en la obra: de esta manera se optimiza el uso del material y se reducen las emisiones de ruido. En caso de no ser posible, realizar la mezcla sobre una plataforma o geotextil para evitar la contaminación del suelo
Tipo	Correctiva
Ubicación espacial	Sector de almacenamiento de materiales
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 8	Control en la disposición de material
Impacto	Polvo y Ruido Alteración del suelo
Fase	Preparación del sitio y construcción Cierre
Acción del proyecto	Retiro de los materiales y limpieza Almacenamiento de materiales Desmontado de instalaciones y limpieza del terreno

Descripción de medida	Controlar la disposición adecuada de los materiales tanto para su almacenamiento como para el desalojo de la obra, priorizando el uso de áreas ya afectadas por la circulación o el almacenamiento de materiales.
Tipo	Correctiva
Ubicación espacial	Sector de almacenamiento de materiales
Responsable de ejecución	Contratista

Medida N° 9	Control de los vehículos y maquinaria
Impacto	Emisiones gaseosas y generación de ruido.
Fase	Construcción y cierre.
Acción del proyecto	Toda acción que implique el uso de vehículos o maquinaria
Descripción de medida	Realizar un control periódico de las condiciones mecánicas de los vehículos para reducir la generación de gases y ruido durante su utilización
Tipo	Mitigadora
Responsable de ejecución	Contratista y mecánicos

Medida N° 10	Eficiencia energética
Impacto	Incremento del consumo energético
Fase	Preparación del sitio y construcción Operación y mantenimiento
Acción del proyecto	Consumo de energía eléctrica
Descripción de medida	Controlar racionalmente el consumo de energía eléctrica mediante la instalación de sistemas de ahorro y el mantenimiento de los equipos eléctricos
Tipo	Correctiva y mitigadora
Ubicación espacial	Toda la obra
Responsable de ejecución	Contratista y operadores de planta

Medida N° 11	Revegetación del área del proyecto
Impacto	Deterioro del paisaje y afectación de la flora
Fase	Construcción y cierre.
Acción del proyecto	Desmonte de la zona y movimiento de tierra Remoción de estructuras en la etapa de cierre
Descripción de medida	Reforestación de la zona finalizada la etapa de construcción y cierre con flora silvestre
Tipo	Compensadora
Ubicación espacial	Área del proyecto

Responsable de ejecución	Contratista
--------------------------	-------------

7.7.1.1 Tareas de control y monitoreo

Se establecerá un encargado diferente durante las tres etapas comprendidas en el proyecto para monitorear la correcta aplicación de las medidas mencionadas con anterioridad. Se deberán elaborar informes periódicos, con la frecuencia que fije la Autoridad de Aplicación, sobre el desarrollo, grado de cumplimiento, efectividad lograda e inconvenientes encontrados sobre cada una de las medidas de protección ambiental indicadas para el proyecto.

A su vez, se realizarán mediciones semanales de emisión de polvo, generación de ruido y control del orden y la higiene del predio, serán debidamente registrados en una planilla que se encontrará a disposición de cualquier persona que la solicite. También se dejará constancia de incidentes operativos.

7.7.1.2 Programa de capacitación y comunicación

El programa de orientación estará enfocado en los obreros que se encontrarán en el predio durante todas las etapas del proyecto, los mismos recibirán una capacitación antes de iniciar su labor que instruya a todos los participantes del proyecto acerca del PGA con especial énfasis en el PCA.

En el caso de la etapa de preparación del sitio y construcción, se hará especial hincapié en las buenas prácticas ambientales instruidas por la Cámara Argentina de la Construcción como también una breve reseña sobre el entorno donde se encuentran.

Los cursos de capacitación serán dictados por profesionales e instruirán a los operarios en el uso de EPP y la aplicación de procedimientos en el caso de que ocurran contingencias de índole técnicas o ambientales. A su vez se realizará una clara explicación de la correcta disposición de los residuos generados durante el transcurso del proyecto y los residuos específicos que puede generar cada operario en la realización de sus tareas. El responsable del proyecto deberá establecer un cronograma con los cursos pertinentes que involucren a todo el personal del establecimiento, se dejará asentado los asistentes a las capacitaciones siendo multados aquellas personas que no justifiquen su ausencia.

El contratista será responsable de que exista una comunicación constante y dinámica entre las autoridades y los pobladores locales a fin de notificar, con una anticipación adecuada, las actividades que se estén llevando a cabo en la obra. A su vez, deberá prestar especial atención a los requerimientos, reclamos o sugerencias realizadas por las partes notificadas.

7.7.2 Plan de Contingencias Ambientales

El Plan de Contingencias Ambientales (PCA) tiene como principal objetivo salvaguardar la vida, el ambiente y las actividades socioeconómicas y culturales, relacionadas o no con las actividades del proyecto en cuestión (Decreto 247/2015).

Éste surge de la necesidad de generar respuestas ordenadas y eficientes ante cualquier contingencia u accidente que pueda afectar tanto a las personas pertenecientes o no al proyecto como también al ambiente.

7.7.2.1 Grupo de respuesta

Según lo establece el Decreto 247/2015, se debe conformar un Grupo de Respuesta (GR) que estará conformado por un jefe o coordinador con experiencia en el tema y especialistas debidamente calificados. Ellos serán los encargados de actuar frente a las contingencias que se dictan a continuación.

A su vez, serán responsables de investigar los accidentes y de remitir a la Autoridad de Aplicación en caso de ser necesario.

7.7.2.2 Derrame de combustibles o sustancias peligrosas

Inicialmente se identificará la sustancia derramada y se aislarán/obturarán los elementos que presenten fugas utilizando herramientas o maquinarias adecuadas. Será primordial informar al jefe de obra para determinar si es necesario la ayuda de entidades externas para resolver la contingencia.

Se deberá detectar posibles fuentes de ignición y la ausencia de emanaciones perjudiciales para la salud. A continuación, se delimitará al área con la señalización conveniente y sólo se permitirá el paso de personal autorizado y que ocupe los EPP adecuados (Gómez, 2016).

Seguidamente se removerá la capa de suelo afectada y se reemplazará con suelo limpio, almacenando el suelo contaminado en áreas impermeabilizadas o contenedores apropiados.

Finalmente, se reanudará la operación cuando estén garantizadas todas las condiciones necesarias que permitan el desarrollo de actividades en el área.

Para la atención de pequeños derrames se recomienda tener accesibilidad a los siguientes insumos:

- 10 kg de material absorbente no combustible y balde con tierra seca o arena
- 30 m² de polietileno de 200 micrones
- Una pala
- Un tambor de tapa removible vacío

7.7.2.3 Contingencias técnicas

En caso de ocurrir alguna falla en el proceso constructivo u operativo de la planta, como consecuencia de algún error humano, por falta de mantenimiento de las instalaciones o por la ausencia de insumos para la reparación de las mismas; se realizará el siguiente procedimiento (Ministerio de Servicios Públicos, 2019)

Como motivo de un accidente de origen antrópico el operario determinará las causas de la falla, las posibles soluciones y procederá a aplicarlas en caso de poseer las capacidades

necesarias, si no posee las habilidades pertinentes deberá informar con premura a su superior que se comunicará con las personas especializadas.

Si ocurre un accidente que daña la infraestructura del sistema de tratamiento, el encargado del área realizará un análisis de las causas y determinará si posee los recursos tanto físicos como humanos para solucionar el evento ocurrido y tomar las medidas convenientes.

En ambos casos mencionados se deberá evaluar un informe que indique como mínimo las causas del incidente, cómo se lo solucionó y sus respectivas consecuencias.

7.7.2.4 Contingencias del personal

Las contingencias del personal hacen referencia a la ocurrencia de lesiones graves o pérdidas de vidas humanas durante el transcurso de las etapas del proyecto. Cuando el encargado haya identificado las circunstancias del evento dará aviso inmediato al medio local de emergencia y seguidamente generará un centro de mando que será el encargado de rescatar a las víctimas con las herramientas y el personal que sea necesario.

El puesto de mando estará encabezado por la persona de mayor jerarquía presente en el establecimiento y éste informará al comitente del proyecto. Entre ambos se evaluará la magnitud del acontecimiento y en caso de ser necesario se contactará con Defensa Civil y con las unidades hospitalarias más cercanas.

7.7.2.5 Incendio

Los incendios que pueden tener lugar en el predio pueden causar pérdidas de equipos, vidas humanas y daños en el medio ambiente, por estos motivos es necesario establecer un plan contra incendios.

Todo el personal de planta, como se mencionó con anterioridad, será capacitado respecto a qué medidas tomar frente a la ocurrencia de un incendio y a los procedimientos de evacuación. El jefe de Higiene y Seguridad será el responsable de identificar los lugares de riesgo de incendios y de establecer las principales vías de evacuación que serán debidamente señalizadas en sectores clave de la obra.

En la Figura 58 que se encuentra en el Anexo, se especifican las clases de fuegos y el agente extintor a utilizar. El jefe de seguridad deberá ser notificado de inmediato en caso de ocurrir un incendio el cual procederá de la siguiente manera (Ministerio de Servicios Públicos, 2019):

1. Determinar la necesidad o no de evacuar el sector afectado ante la ocurrencia del incendio.
2. Dar alerta, preferentemente al personal encargado de la evacuación y extinción, como también al GR.
3. Indicar al personal de la brigada de ataque primario al fuego, la cual será debidamente conformada y capacitada en el inicio de la obra, que actúe con los elementos de extinción adecuados hasta el arribo de los bomberos (si fuera necesario).
4. Ordenar el corte del servicio de energía eléctrica y de gas.

5. Dar la orden de realizar las llamadas de emergencia si existieran lesiones graves o fatales de personas. Comunicar al comitente.

Como elementos básicos para combatir el fuego se requerirán los siguientes elementos:

- Extintores triclase de operación manual
- Extintores triclase portátiles sobre ruedas (carros)
- Protección personal: cada miembro de la brigada de ataque primario al fuego contará con los siguientes EPP:
 - Casco con cubrenuca y protector facial, con su correspondiente barbijo tipo mentonera y ajuste craneano a corredera
 - Saco y pantalón de tela ignífuga con señalización reflectora
 - Botas ignífugas con punteras y planta de seguridad
 - Guantes ignífugos
 - Máscara con filtro antigás (equipo autónomo)

7.7.2.6 Sismos

La zona de emplazamiento del proyecto es susceptible a ser afectada por sismos, aunque leves, se deben establecer las principales medidas a ejecutar en caso de ocurrencia. Al tratarse de un lugar abierto existen menores posibilidades de accidentes, pero se debe prestar especial atención a las siguientes recomendaciones (Instituto Nacional de Prevención Sísmica, 2017):

- Prestar atención a la caída de postes de alumbrado, red eléctrica o tanques elevados de agua, hundimiento de lagunas y de muros. Alejarse de estas zonas riesgosas y dirigirse a áreas más seguras.
- No desplazarse por los caminos ya que los conductores no perciben el sismo inmediatamente.
- Si se encuentra dentro de un vehículo debe abandonarlo únicamente si considera que se encuentra en un lugar inseguro y dirigirse a la zona de menor riesgo.

7.7.2.7 Inundaciones

Las inundaciones pueden producirse como consecuencia de lluvias intensas y prolongadas sumadas a dificultades externas como la cercanía de aguas subterráneas a la superficie del suelo.

En caso de encontrarse frente a esta contingencia se instalarán bombas de extracción para evacuar el agua de las zanjas o excavaciones anegadas por los motivos ya mencionados.

Como precauciones se disminuirá la velocidad de circulación de los vehículos que transiten por el área del proyecto y se colocarán en áreas más elevadas. A su vez, se dará aviso al GR que evaluará la situación y determinará si la misma pone en peligro la integridad de los operarios.

7.7.3 Auditorías Ambientales del Plan de Gestión Ambiental

Las Auditorías Ambientales del Plan de Gestión Ambiental (AA-PGA) se elaboran con el objetivo de estructurar y organizar el proceso de verificación periódico, sistemático y documentado del grado de cumplimiento del PGA y de la normativa correspondiente.

Éstas tienen carácter de declaración jurada y deberán ser firmadas por el representante legal del comitente de la obra como también por el responsable ambiental del proyecto en cuestión, ambos serán garantes de la veracidad de la información documentada.

La AA-PGA representa una forma de comunicación frente a la Autoridad de Aplicación respecto a la corrección o adecuación de los desvíos (o no conformidades) detectados en los informes, programas o estándares establecidos.

7.7.3.1 Auditores

La AA-PGA será realizada por un auditor individual externo que será contratado en el momento de inicio de la obra, sus competencias serán en ciencias ambientales, remediación ambiental y normativa ambiental aplicable a la obra en cuestión.

7.7.3.2 Procedimiento de auditoría

El responsable de la AA-PGA será capaz de modificar el procedimiento de la misma con previo aviso y justificación razonable al responsable ambiental de obra y a la Autoridad de Aplicación.

7.7.3.2.1 Programa de auditoría

La misma será llevada a cabo durante las etapas de preparación del sitio y construcción como también de cierre/abandono con una periodicidad de 30 días y durante la etapa de operación y mantenimiento con una regularidad de 60 días.

7.7.3.2.2 Objetivos y alcance

Se establecerá la relevancia, la información y el modo en que se realizarán las auditorías ambientales durante las etapas del proyecto. Abarca todas las obras programadas y ejecutadas por la empresa contratista durante las etapas de construcción, operación del sistema de tratamiento y cierre o abandono

7.7.3.2.3 Metodología de control

El auditor escogerá el método y/o técnica de control a utilizar (lista de verificación, análisis, pruebas, toma de muestras) según crea pertinente y tendrá la potestad de realizar modificaciones a los mismos dependiendo de las circunstancias. Esta metodología será aplicada a cada obra e instalación complementaria dentro del proyecto.

Se deberán llevar a cabo las siguientes actividades para realizar un correcto monitoreo (Ministerio de Servicios Públicos, 2019):

- Verificar y controlar periódicamente el cumplimiento del Plan de Gestión Ambiental
- Mantener actualizada toda la normativa aplicable al proyecto.

- Recolectar cualquier tipo de documento como muestra de cumplimiento del PGA, como planillas, fotografías, entre otros.
- Redactar un informe de acuerdo a lo auditado y a los resultados obtenidos en el laboratorio.

Se recomienda el uso de la planilla de AA-PGA propuesta que se encuentra en el Anexo (Figura 59).

7.7.3.2.4 Identificación de desvíos

Los desvíos o no conformidades detectados en el proceso de auditoría respecto de los objetivos, estándares, procedimientos y medidas establecidos por el PGA serán debidamente identificados, caracterizados y documentados para asegurar que el personal responsable de dichos desvíos y el de su corrección, sea informado prontamente, y que sean definidas las acciones correctivas y los plazos para su implementación.

Se deberá comunicar a la empresa contratista acerca de los desvíos u oportunidades de mejora detectadas, como también las fechas establecidas para su corrección o aplicación respectivamente, utilizando la planilla propuesta que se encuentra en el Anexo (Figura 60).

En caso de que el auditor detecte la ocurrencia de un impacto ambiental que no fue identificado con anterioridad, deberá informarse del mismo para establecer las medidas de mitigación específicas para el caso, haciendo uso de la planilla correspondiente (Anexo: Figura 61).

7.7.3.2.5 Comunicación

La comunicación subyacente a todo lo relacionado con la AA-PGA deberá ser dinámica y permanente, para asegurar que el responsable de obra y el comitente pueden tomar las medidas necesarias y se informe debidamente a la Autoridad de Aplicación.

7.7.3.2.6 Informes de auditoría

Durante las etapas de preparación del sitio y construcción, operación y mantenimiento, cierre o abandono; el auditor elaborará informes de auditoría con la periodicidad antes mencionada, los mismos contendrán los siguientes contenidos:

1. Identificación de procesos e instalaciones
2. Objetivos y alcance de la auditoría
3. Criterios de auditoría
4. Período cubierto por la auditoría
5. Identificación del equipo auditor
6. Identificación del personal auditado
7. Resumen del proceso de auditoría con los informes específicos de los desvíos o no conformidades detectados
8. Conclusiones de la auditoría

A su vez, al final de cada una de las etapas del proyecto se confeccionará un informe de auditoría final en que se dejará constancia de aquellos eventos generadores de impacto ambiental, con una síntesis de los mismos y conclusiones generales.

7.7.4 Plan de abandono o retiro

La empresa, a efectos de abandonar o retirar instalaciones o parte de ellas, deberá asegurar, en todo momento, la protección ambiental para las áreas de influencia del proyecto en cuestión. Una vez obtenida la conformidad de la Autoridad de Aplicación respecto del posible abandono, se procederá a ejecutar el siguiente cronograma.

7.7.4.1 Auditoría Ambiental Inicial

Se presentará a la Autoridad de Aplicación una Auditoría Ambiental Inicial en la cual se detallarán las recomendaciones que indiquen la conveniencia de proceder al abandono o retiro de las instalaciones.

A continuación, se postulan ciertos criterios y acciones a implementar (Gómez, 2016):

- Revisar la normativa tanto nacional como provincial en el momento de dismantelar las instalaciones teniendo en cuenta que pueden existir nuevas regulaciones aplicables al proyecto a la hora de su abandono.
- Detectar posibles pasivos ambientales según lo indique el Registro de Pasivos Ambientales de la Provincia de Córdoba (REPA), también es posible aplicar la norma ASTMES 1527-05 de fase I y en caso de detectar la presencia de pasivos ambientales se procede a avanzar a la fase II (ASTM E 1903-10). En función de los resultados obtenidos, se deberán aplicar las medidas correspondientes para remediar el medio.
- Formular alternativas de cierre una vez identificados los posibles impactos por la operación y cierre del proyecto. Se deberán establecer opciones de restauración y remediación ambiental para cada una de las alternativas propuestas, con sus correspondientes presupuestos. Esta etapa deberá ser comunicada a la sociedad, de manera de cumplir no solo con los requerimientos técnicos y ambientales, sino también sociales.
- Todas las instalaciones construidas y equipos introducidos en el área como motivo de la operación del proyecto deberán ser dismantelados y retirados de la zona.
- Los suelos contaminados con materia orgánica u otras sustancias como producto de la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, deberán ser remediados.
- Establecer la disposición final de los residuos de desbaste, lodos secos y húmedos de la planta, aguas sin tratar y químicos que aún estarán en el sistema de tratamiento e inmediaciones del proyecto.
- Determinar el destino de los materiales y estructuras una vez dismantelados (comercialización, reciclaje, tratamiento como residuos o donación a la comunidad).
- Las lagunas deberán ser rellenas y la superficie reconstruida al punto que los bordes y el sistema de drenaje sea compatible con las áreas cercanas.
- Todos los suelos afectados por el proyecto deberán ser reconstituidos y descompactados promoviendo su revegetación y estabilización, lo mismo se hará con los taludes presentes en el terreno.

- En concordancia con la recomendación previa, todo el predio será debidamente acondicionado para lograr que el mismo posea características similares o mejores a las de su estado inicial, previo a la implementación del proyecto.

7.7.4.2 Abandono

En caso de Abandono, la empresa deberá ejecutar Auditorías Ambientales Periódicas, de acuerdo con las recomendaciones que contenga la Auditoría Ambiental Inicial.

7.7.4.3 Retiro

En caso de retiro, la empresa deberá efectuar una Auditoría Ambiental Final, con las conclusiones de las medidas ambientales adoptadas, la que será remitida a la Autoridad de Aplicación.

7.7.4.4 Registro de abandono o retiro

Una vez finalizado el proceso de abandono o retiro la entidad deberá poseer un registro que indique las características de las instalaciones abandonadas o retiradas, el mismo contendrá:

- Detalle de las instalaciones.
- Informe de la Auditoría Ambiental Inicial.
- Detalle de las operaciones realizadas para proceder al abandono o retiro de las instalaciones y la descripción de las tareas de adecuación ambiental efectuadas durante las mismas.
- En caso de Retiro, Informe de la Auditoría Ambiental Final.
- En los casos de Abandono, los informes de las Auditorías Ambientales Periódicas.

7.8 Conclusiones Estudio de Impacto Ambiental

El proyecto a realizar en la ciudad de Alejandro Roca trae aparejados impactos positivos y negativos, como se puede apreciar en la identificación y la valoración de los mismos.

Es importante destacar que los impactos negativos han de ser prevenidos, corregidos y/o mitigados por las medidas propuestas, haciéndose especial hincapié en su seguimiento y control. Los impactos positivos serán potenciados para favorecer el desarrollo de la economía local, capacitar al personal y proteger el ambiente de los efluentes sin tratar.

La entidad se compromete a adecuar las lagunas de tratamiento al ya existente Sistema de Gestión Ambiental certificado por ISO 14.000 que posee el establecimiento en torno a la producción de bioetanol, con el objetivo de reducir el Nivel de Complejidad Ambiental de este proyecto.

Realizando una autoevaluación integral del Estudio de Impacto Ambiental, se concluye que el proyecto presentado cumple con lo estipulado por la Ley N°10.208 y sus decretos reglamentarios, por lo tanto, se considera viable el emplazamiento del sistema de tratamiento de efluentes líquidos de la planta productora de bioetanol CORNOL.

8 Planos

En el Anexo denominado “Planos” se enseñan las unidades operativas más representativas de la planta de tratamiento de efluentes, las dimensiones y la distribución de cada una de las unidades, estructuras adicionales y accesorios pueden sufrir variaciones según lo requiere la obra civil en el momento de emplazamiento de la planta.

Es importante destacar que se presentan planos de equipos dimensionados por terceros como es el caso de las bombas, el puente barredor, los filtros de carbón activado y los tamices rotativos, de éstos se poseen escasas medidas y se los representa de la manera más precisa posible.

Se exceptúa representar todas las lagunas ya que poseen estructuras similares de entrada y salida, por lo tanto, se opta por representar las vistas fundamentales de la laguna anaeróbica únicamente.

A continuación, se enumeran los 10 planos que se presentan:

- Plano 01: Vistas fundamentales del sistema de rejas.
- Plano 02: Vistas fundamentales del tamiz DEFENDER TR 63/120
- Plano 03: Vistas fundamentales del ecualizador.
- Plano 04: Vistas fundamentales del sedimentador.
- Plano 05: Vistas fundamentales de la laguna anaeróbica.
- Plano 06: Vistas fundamentales de los filtros de carbón activado.
- Plano 07: Vistas fundamentales de la cámara de aforo y toma de muestras.
- Plano 08: Vistas fundamentales del lecho de secado.
- Plano 09: Vista lateral de la planta de tratamiento en referencia al nivel del terreno.
- Plano 10: Vistas en planta de la planta de tratamiento de efluentes completa.

9 Conclusiones

9.1 Conclusión final

Al requerirse la construcción de una nueva planta de tratamiento para los efluentes de la producción de bioetanol en primera instancia se analizaron las características del efluente de producción y de la corriente blanca producida por la purga de los equipos de ósmosis inversa.

Tanto el efluente de producción como la corriente blanca exceden los límites establecidos por la normativa vigente para ser volcados directamente en un cuerpo receptor (Decreto 847/16), entre los parámetros físico químicos fuera de rango encontramos la temperatura, la demanda bioquímica y química de oxígeno, el nitrógeno kjeldahl, el fósforo total, los sólidos suspendidos, el sodio y el nitrato.

El estudio del proceso productivo y por consiguiente las etapas donde se generan los efluentes permitieron establecer un contexto para identificar los puntos de mejora para reducir la cantidad de líquido desechado, como también para mejorar sus características. A su vez, se decidió unificar los principales efluentes generados en planta, ya que esta acción permitía reducir ciertos parámetros que excedían los valores establecidos por la normativa aplicable.

Se analizaron tres alternativas para llevar a cabo el tratamiento del efluente de planta decidiéndose finalmente por el establecimiento de cinco lagunas de estabilización, con un tren de unidades que comienza en un sistema de rejas y tamices, un equalizador y un sedimentador. A su vez, la planta cuenta con un tratamiento terciario compuesto por filtros de carbón activado y lechos de secado para la deshidratación de barros con el correspondiente tratamiento de los lixiviados. Esta metodología fue escogida por sobre las restantes principalmente por la disponibilidad de espacio, los bajos costos de operación y mantenimiento y la facilidad de operación.

El dimensionamiento presentado es viable técnicamente y permite que el efluente se encuentre por debajo de los límites establecidos por la normativa para los parámetros de vuelco con un elevado margen de seguridad. En un principio, el efluente será volcado en el Río Cuarto pero se recomienda su reusó según las 8 clasificaciones establecidas por el Decreto 847/16 y analizar la posibilidad de utilizar el efluente como agua de proceso previa a las operaciones de filtrado.

Como resultado del análisis económico realizado se obtiene que el valor de tratamiento por metro cúbico es de USD 2,16, haciendo al proyecto económicamente factible. A su vez, se destaca la capacidad de tratamiento de un mayor caudal en caso de incrementarse la producción de bioetanol, por lo tanto, la inversión inicial es amortizable a futuro.

La aplicación del Manual de Buenas Prácticas, Mantenimiento y Monitoreo del sistema de tratamiento de efluentes permitirá la correcta operación y cuidado de la planta, en primer

lugar, para que el efluente de la misma se encuentre dentro de los parámetros previstos durante el diseño y en segunda instancia para extender la vida útil del proyecto.

La valorización de impactos tanto positivos como negativos de la implementación del proyecto mediante el estudio de impacto ambiental con su correspondiente plan de gestión ambiental, permite concluir que el proyecto presentado cumple con lo estipulado por la Ley N°10.208 y sus decretos reglamentarios.

Por lo tanto, el emplazamiento del sistema de tratamiento de efluentes líquidos de la planta productora de bioetanol CORNOL se considera ambiental, social, económica y técnicamente viable.

9.2 Conclusión personal

La elaboración del proyecto final integrador fue una instancia de desarrollo tanto profesional como personal ya que tener en cuenta tantos aspectos durante la realización del escrito, la consulta de diversas fuentes y el tiempo invertido permite adquirir nuevos conceptos y fijar todos los estudiados durante la carrera. Esto eleva al PFI a una instancia indispensable para la formación de un ingeniero que pretende insertarse en el desafiante ámbito laboral.

Tuve el agrado de poder visitar una planta de producción de bioetanol durante mi pasantía en el INTA y fue una experiencia increíble, permitiéndome conocer cada aspecto del proceso productivo, junto con la tecnología de punta. La persecución de la circularidad dentro de la empresa como también el esfuerzo por la innovación y la búsqueda de coproductos que antes eran considerados desechos son todos aspectos que espero incorporar como profesional e implementar en un futuro.

Finalmente me considero afortunado por haber vivido la experiencia de estudiar en una universidad pública reconocida tanto nacional como internacionalmente y ansío poder cosechar los frutos de tanto esfuerzo y dedicación.

10 Bibliografía

- Administración General de Recursos Hídricos. (2018). *Resolución General N°83*. Córdoba.
- Agencia Córdoba. (2003). *Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba*. Córdoba.
- Anschau, R. A., Flores Marco, N., Carballo, S. M., & Hilbert, J. (2009). *Evaluación del potencial de producción de biocombustibles en Argentina, con criterios de sustentabilidad social, ecológica y económica, y gestión ordenada del territorio. El caso de la caña de azúcar y el bioetanol*.
- Ariño, N., Pisani Claro, N., & Miazzo, D. (2019). *Maíz 360°: Análisis de Argentina y el mundo*. Río Cuarto. Obtenido de <http://fundacionfada.org/informes/page/2/>
- Blarasín, M., Cabrera, A., & Matteoda, E. (2014). *Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba*. Río Cuarto: UniRío.
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2019). *Bioetanol: con producción estable y capacidad la industria apuesta a que se incremente el corte obligatorio en naftas*. Obtenido de <https://www.bcr.com.ar/es/print/pdf/node/74763>
- Bragachini, M., Saavedra, A., Méndez, J. M., Bragachini, M., Mathier, D., Errasquín, L., & Coen, A. B. (2015). *Informe de la visita a la planta de producción de bioetanol ACABIO, Villa María, Córdoba*.
- Burkart, R., Barbaro, N., Sánchez, R., & Gómez, D. A. (1999). *Eco-regiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales.
- Camargo Valero, M., & Mara, D. (2007). Nitrogen removal via ammonia volatilization in maturation ponds. *Water Science & Technology*, 87–92.
- Camuyrano, J. A., Colombo, I., Giordanelli, F. C., Guzmán Camacho, M., & Penna, F. (2017). *INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOETANOL. Proyecto Final de Ingeniería Industrial. ITBA*.
- Cardona, C., Sánchez, O., & L, G. (2009). *Process sythesis for fuel ethanol production*.
- Comisión Nacional de Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Mantenimiento*. México D.F.: Secretaría de Media Ambiente y Recursos Naturales.
- Decreto 543/16 . (2016). *Regímenes de promoción. Biocombustibles. Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles. Mezclado de biocombustibles con combustibles fósiles. Buenos Aires*.
- Decreto 847/16. (2016). *Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico de la Provincia. Córdoba*.
- Díaz Lozada, J. M. (2019). *Avances en la Cuantificación hidrológica y caracterización hidráulica del flujo en el sistema fluvial del Río Carcarañá utilizando ADCP*. Córdoba: Tesis Doctoral.

- Environmental Protection Agency. (2002). *Wastewater Technology Fact Sheet: Aeration, Partial Mix Lagoons*. Washington: Municipal Technology Branch.
- Environmental Protection Agency. (2011). *Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers and Managers*. Cincinnati: Office of Research and Development.
- EPEC. (2020). *TARIFAS PARA USUARIOS FINALES: TARIFA Nº 9 – SERVICIO DE PEAJE*. Córdoba.
- FAO. (2005). *FORMULACIÓN Y EMPLEO DE PERFILES DE PROYECTO*. Roma.
- Farmer, R., Kovacic, S., & Dussert, B. (1996). Improved granular activated carbon for the stabilization of wastewater. *Division of fuel chemistry*.
- Galarza Arévalo, D. A., & Valenzuela Torres, J. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DEL AGUA EN LA MEZCLA DEL HORMIGÓN*. Quito: TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.
- Ganapathi, G. (1984). *A COMPREHENSIVE TREATABILITY STUDY ON ALCOHOL STILLAGE USING AEROBIC AND ANAEROBIC SUSPENDED GROWTH SYSTEMS*. Madras.
- Gandarillas, I. J. (2016). *Lagunaje : Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización*. Escuela de Organización Industrial.
- Garmendia Salvador, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*. Madrid: Pearson-Prentice Hall.
- Gómez García, F. (2015). *Ingeniería de procesos de planta de fabricación de etanol con una capacidad de 20 tn/año*.
- Gómez, H. A. (2016). *Análisis de riesgos presentes en una planta de bioetanol - Empresa PROMAÍZ S.A*. Buenos Aires.
- Ingallinella, A., Sanguinetti, G., Fernández, R., Strauss, M., & Montangero, A. (2002). Cotreatment of sewage and septage in waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, 9-15.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (2017). *Manual de Prevención Sísmica*. San Juan.
- International Energy Agency. (2017). *Energy Access Outlook 2017*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>
- Jayo, Á., & Soza, A. (2016). *Estudio de factibilidad de producción de bioetanol a base de maíz. Proyecto final de ingeniería*. UADE.
- Kayombo, S., Mbvette, T. S., Katima, J., Ladegaard, N., & Jørgensen, S. (2004). *WASTE STABILIZATION PONDS AND CONSTRUCTED WETLANDS DESIGN MANUAL*. WSP & CW Research Project.
- Ley N°10.208. (2014). *Política Ambiental Provincial*. Córdoba.

- Martínez Cortés, F., Cansino Treviño, A., López Sáenz, A., Barrios González, J. L., & De la Cruz Acosta, F. J. (2016). *Mathematical modeling and optimization in the design of a maturation pond*. México: JART.
- Mayo, A., & Abbas, M. (2014). Removal mechanisms of nitrogen in waste stabilization ponds. *Physics and Chemistry of the Earth*, 77-82.
- Mbwele, L. A. (2006). *Microbial Phosphorus Removal in Waste Stabilization Pond Wastewater Treatment Systems*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Menéndez Gutierrez, C., & Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológicos de aguas residuales industriales*. Ciudad de La Habana : Editorial Félix Varera - Editorial Universitaria.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). *PLAN DE ACCIÓN NACIONAL DE BOSQUES Y CAMBIO CLIMÁTICO*. Obtenido de https://redd.unfccc.int/files/4849_1_plan_de_accion_nacional_de_bosques_y_cambio_climatico_-_argentina.pdf
- Ministerio de Sanidad y Política Social. (2009). *Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano*. Madrid.
- Ministerio de Servicios Públicos. (2019). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL: SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE RÍO CUARTO*. Río Cuarto.
- Morello, J., Matteucci, S., Rodríguez, A., Silva, M., & Haro, J. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos (1st ed.)*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Moşneag, S., Popescu, V., Dinescu, A., & Borodi, G. (2014). Utilization of granular activated carbon adsorber for nitrates removal from groundwater of the Cluj region. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 918-924.
- Mushtaque, A. (2000). *Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants*.
- Nunell, G., Fernández, M., Bonelli, P., & Cukierman, A. (2008). INFLUENCIA DEL POSTRATAMIENTO DE UN CARBÓN ACTIVADO COMERCIAL EN LA REMOCIÓN DE UNA ESPECIE ANIÓNICA CONTAMINANTE DEL AGUA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* .
- Oakley, S. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras*. California.
- Ouakouak, A., & Leila, Y. (2016). Phosphates removal by activated carbon. *Sensor Letters*, 600-605.
- Panigatti, J. (2011). *Argentina 200 años, 200 suelos*. Buenos Aires: INTA.
- Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec: Editorial Reverté.
- Reddy, G., & Reddy, K. R. (1993). Phosphorus removal by ponds receiving polluted water from non-point sources. *Wetland Ecology and Management*, 171-176.

- Reed, S. (1985). *Nitrogen Removal in Wastewater Stabilization Ponds*. Journal (Water Pollution Control Federation).
- Resolución N°29. (2017). *“Estándares Ambientales, de Emisión o de Efluentes y Estándares Tecnológicos para la Gestión y Aplicación Agronómica de Residuos Pecuarios de la Provincia de Córdoba*. Córdoba.
- Richard, M. (2003). *Microbiological and Chemical Testing for Troubleshooting Lagoons*. Colorado.
- Richard, M., & Bowman, R. (1997). *Troubleshooting and Optimizing Wastewater Treatment in Small Communities--Lagoon Process Instructor Guide and Participant Workbook*. Florida: University of Florida.
- Rodríguez Gil, M. (2006). *Depuración de aguas residuales: Modelización de procesos de lodos activos*. Editorial CSIC.
- Rodríguez, C., Manicni, M., & Ferrero, S. (2002). Variaciones estacionales de la calidad del agua del río Chocancharava (río Cuarto). *Ecología Austral*, 65-72.
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Alfa Omega.
- Sánchez, Ó. J., & Cardona, C. A. (2005). *Producción biotecnológica de alcohol carburante II: integración de procesos*.
- Santos, M., & Oliveira, J. (1987). *NITROGEN TRANSFORMATIONS AND REMOVAL IN WASTE STABILIZATION PONDS IN PORTUGAL: SEASONAL VARIATIONS*. *Wal. Sci. Tech.* Vol. 19. No. 12.
- Secretaría de Energía. (2019). *Balance Energético Nacional: Serie histórica-Indicadores desde 1960 actualizado al año 2018*.
- SENASBA. (2019). *Operación y Mantenimiento para el Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización*. La Paz: GIZ/PERIAGUA.
- Storti, L. (2019). *Informes de Cadena de valor. Cereales: Maíz- Febrero 2019*. Buenos Aires. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_maiz.pdf
- Strande, L., Ronteltap, M., & Bradjanovic, D. (2014). *Manejo de lodos fecales*. IWA Publishing.
- Suárez, J., & Jácome, A. (2007). *ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO DE LAS AGUAS RESIDUALES. PROCESOS DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN*. Coruña.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Trtamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.

- USDA-FAS. (2019). *Argentina Biofuels Report 2019*. Obtenido de https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_8-9-2019.pdf
- Vergagni, G. (2004). *La industria del etanol a partir del maíz. ¿Es factible su desarrollo en Argentina?*
- Violini, S. (2016). *Uso de suelo agrícola en la zona central de Córdoba: análisis de datos espaciales multisensor para su estudio y gestión*. Córdoba.
- Wang, K. L., Pereira, C. N., & Hung, Y.-T. (2009). *Biological Treatment Processes: Handbook of Environmental Engineering Volume 8*. Humana Press.
- Wilkie, A., Riedesel, K., & Owens, J. (2000). *Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks*.

11 Anexo

11.1 Teoría

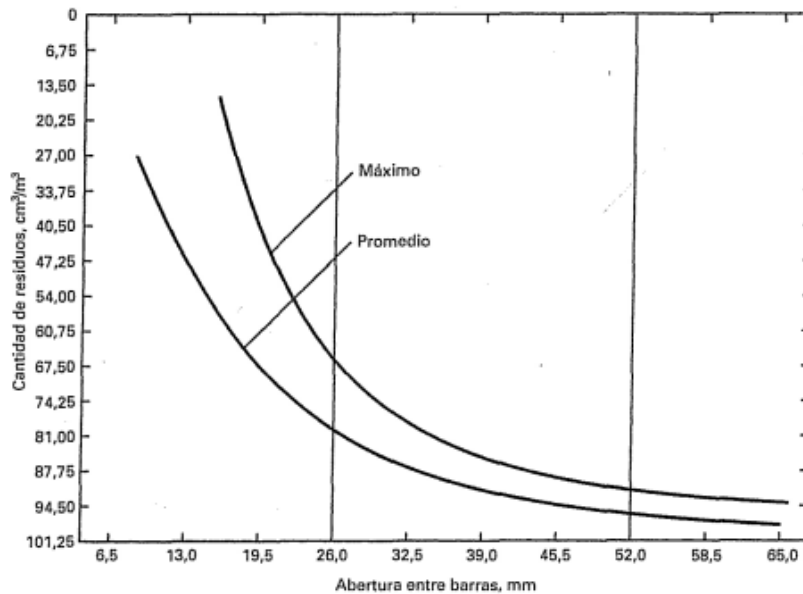




Figura 47. Volumen promedio y máximo de los residuos retenidos en las rejillas de pretratamiento en función de la abertura de las mismas para aguas residuales. Fuente: (Tchobanoglous & Burton, 1995).

t/D	$1 - 2t/D$	α	R/R_t	V/V_t	A/A_t	Q/Q_t
0.00	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.05	0.90000	0.90205	0.13020	0.25689	0.01869	0.00480
0.10	0.80000	1.28700	0.25408	0.40116	0.05204	0.02088
0.15	0.70000	1.59080	0.37151	0.51679	0.09406	0.04861
0.20	0.60000	1.85459	0.48237	0.61506	0.14238	0.08757
0.25	0.50000	2.09440	0.58650	0.70067	0.19550	0.13698
0.30	0.40000	2.31856	0.68376	0.77614	0.25232	0.19583
0.35	0.30000	2.53221	0.77397	0.84298	0.31192	0.26294
0.40	0.20000	2.73888	0.85691	0.90217	0.37353	0.33699
0.45	0.10000	2.94126	0.93234	0.95437	0.43644	0.41653
0.50	0.00000	3.14159	1.00000	1.00000	0.50000	0.50000
0.55	-0.10000	3.34193	1.05955	1.03931	0.56356	0.58571
0.60	-0.20000	3.54431	1.11058	1.07242	0.62647	0.67184
0.65	-0.30000	3.75098	1.15259	1.09930	0.68808	0.75841
0.70	-0.40000	3.96463	1.18494	1.11977	0.74768	0.83724
0.75	-0.50000	4.18879	1.20675	1.13347	0.80450	0.91188
0.80	-0.60000	4.42859	1.21677	1.13974	0.85762	0.97747
0.85	-0.70000	4.69239	1.21307	1.13743	0.90594	1.03044
0.90	-0.80000	4.99618	1.19215	1.12431	0.94796	1.06580
0.95	-0.90000	5.38113	1.14581	1.09498	0.98131	1.07451
1.00	-1.00000	6.28318	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000

Figura 48. Relaciones dentro de tuberías para tirante, diámetro, radio hidráulico, área, caudal y volumen. Fuente: Google Imágenes.

θ	90°	75° 58'	71° 34'	63° 26'	60°	56° 19'	53° 08'	45°	$\theta =$ 
z	0	0,250	0,333	0,500	0,577	0,667	0,750	1,000	$z =$ 
m	2	1,562	1,442	1,236	1,155	1,070	1,000	0,828	$m = 2(\sqrt{1+z^2} - z)$
$1/m$	0,5	0,640	0,694	0,809	0,866	0,934	1,000	1,207	$1/m = y/b$
A	$2y^2$	$1,812y^2$	$1,775y^2$	$1,736y^2$	$1,732y^2$	$1,737y^2$	$1,750y^2$	$1,828y^2$	$A = (m+z)y^2$
P	$4y$	$3,623y$	$3,550y$	$3,472y$	$3,464y$	$3,474y$	$3,500y$	$3,657y$	$P = (m+2\sqrt{1+z^2})y$
R	$y/2$								$R = A/P$
$AR^{2/3}$	$1,260y^{8/3}$	$1,141y^{8/3}$	$1,118y^{8/3}$	$1,094y^{8/3}$	$1,091y^{8/3}$	$1,094y^{8/3}$	$1,102y^{8/3}$	$1,152y^{8/3}$	$AR^{2/3} = \frac{Q_n}{S^{1/2}}$

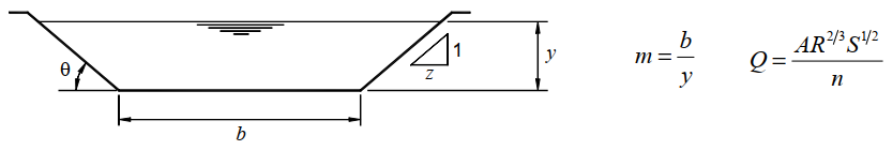


Figura 49. Sección trapezoidal de máxima eficiencia hidráulica. Fuente: Rocha Felices, s.f.

DIMENSIONES DE LA TUBERÍA CORZAN® Y CLASIFICACIÓN DE PRESIÓN

CÉDULA 80					
Diámetro de la Tubería (in)	Diámetro Exterior (in)	Pared Mínima (in)	Diámetro Interior Promedio (in)	Peso de la Tubería (lbs/ft)	Presión Máxima de Agua a 73 °F (psi)
¼	0.540	0.119	0.288	0.110	1130
⅜	0.675	0.126	0.407	0.153	920
½	0.840	0.147	0.528	0.225	850
¾	1.050	0.154	0.724	0.305	690
1	1.315	0.179	0.935	0.450	630
1 ¼	1.660	0.191	1.256	0.621	520
1 ½	1.900	0.200	1.476	0.754	470
2	2.375	0.218	1.913	1.043	400
2 ¼	2.875	0.276	2.289	1.594	420
3	3.500	0.300	2.864	2.132	370
4	4.500	0.337	3.786	3.116	320
6	6.625	0.432	5.709	5.951	280
8	8.625	0.500	7.565	9.040	250
10	10.750	0.593	9.492	13.413	230
12	12.750	0.687	11.294	18.440	230
14	14.000	0.750	12.410	22.119	220
16	16.000	0.843	14.214	28.424	220

CÉDULA 40					
Diámetro de la Tubería (in)	Diámetro Exterior (in)	Pared Mínima (in)	Diámetro Interior Promedio (in)	Peso de la Tubería (lbs/ft)	Presión Máxima de Agua a 73 °F (psi)
¼	0.540	0.088	0.354	0.088	780
⅜	0.675	0.091	0.483	0.117	620
½	0.840	0.109	0.608	0.177	600
¾	1.050	0.113	0.810	0.235	480
1	1.315	0.133	1.033	0.349	450
1 ¼	1.660	0.140	1.364	0.471	370
1 ½	1.900	0.145	1.592	0.567	330
2	2.375	0.154	2.049	0.760	280
2 ¼	2.875	0.203	2.445	1.205	300
3	3.500	0.216	3.042	1.578	260
4	4.500	0.237	3.998	2.247	220
6	6.625	0.280	6.031	3.960	180
8	8.625	0.322	7.943	5.952	160
10	10.750	0.365	9.976	8.450	140
12	12.750	0.406	11.890	11.162	130
14	14.000	0.437	13.072	13.233	130
16	16.000	0.500	14.940	17.275	130

Figura 50. Diámetros y dimensiones de tuberías de CPVC marca Corzan. Fuente: <https://www.corzan.com/es-mx/sistemas-de-tuberias/especificacion/dimensiones-y-pesos>

Tabla LI. Recuento de accesorios en todas las secciones de la planta.

Sección	Codo 90°	Compuerta	V. compuerta	Derivación llegada	Derivación salida	V. retención	T llegada	T salida	Expansión	Contracción	Parshall	Σk
EF	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2,275
R1-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
R1-2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
R2-1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,75
R2-2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,75
T1-1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1,625
T1-2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1,625
T2-1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
T2-2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
T3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2,325
B11-1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
B11-2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
B12-1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,9
B12-2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,9
EC1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1,4
EC2	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2,15
EC3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1,9
EC BYPASS	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
S1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2,15
S2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1,65
S BYPASS	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
S3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0,65
LG11	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	6,075
LG12-1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG12-2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG12-3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9

PROYECTO FINAL INTEGRADOR
Geretto Patricio Luis

Sección	Codo 90°	Compuerta	V. compuerta	Derivación llegada	Derivación salida	V. retención	T llegada	T salida	Expansión	Contracción	Parshall	Σk
LG13-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG13-2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG13-3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG1 BYPASS	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95
C1/2	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3,55
LG21	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,475
LG22-1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG22-2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG22-3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG23-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG23-2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG23-3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG24	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
C2/2'-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,25
C2/2'-2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,25
C2/2'-3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,25
C2/2'-4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,25
C2/2' P	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,25
LG2'1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,075
LG2'2-1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG2'2-2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG2'2-3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG2'3-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG2'3-2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG2'3-3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG2'4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG2' BYPASS	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5

PROYECTO FINAL INTEGRADOR
Geretto Patricio Luis

Sección	Codo 90°	Compuerta	V. compuerta	Derivación llegada	Derivación salida	V. retención	T llegada	T salida	Expansión	Contracción	Parshall	Σk
C2'/3	2	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	4,875
LG31	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4,075
LG32-1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG32-2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG32-3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,9
LG33-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG33-2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG33-3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
LG34	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,4
C3/4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1,4
LG3 BYPASS	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4
LG41	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	5,4
LG42	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1,5
LG4 BYPASS	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8
C4/B2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4,65
B21-1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2,15
B21-2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55
B22-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,5
B22-2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,9
CB2/FCA	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,95
FCA1-1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7
FCA1-2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2,3
FCA1-3	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2,3
FCA1-4	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2,3
FCA2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1,95
FCA BYPASS	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PROYECTO FINAL INTEGRADOR
Geretto Patricio Luis

Sección	Codo 90°	Compuerta	V. compuerta	Derivación llegada	Derivación salida	V. retención	T llegada	T salida	Expansión	Contracción	Parshall	Σk
LS1	0	0	1	0	0	0	1		0	0	0	1,4
LS2-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
LS2-2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4

Tabla LII. Rango de parámetros para elección del tamaño de la canaleta Parshall. Fuente: <https://iac-sl.es/sites/default/files/Ccanales.PDF>

Tamaño	Hmin(mm)	Qmin(m ³ /h)	Hmáx(mm)	Qmáx(m ³ /h)	K (m ³ /h)	n
1"	15,0	0,32	210	19	217,5	1,55
2"	20,0	1	393	100	425	1,548
3"	31,9	3	591	275	620	1,548
6"	32,7	6	609	600	1310	1,574
9"	30,6	9	753	1200	1851	1,528
12"(1')	30,5	12	885	2000	2407	1,519
1'6"(18")	30,0	17,3	760	2502	3802	1,538
2'	46,0	43,5	760	3360	5141	1,550
3'	46,0	63	760	5115	7863	1,566
4'	60,0	110	760	6894	10631	1,578

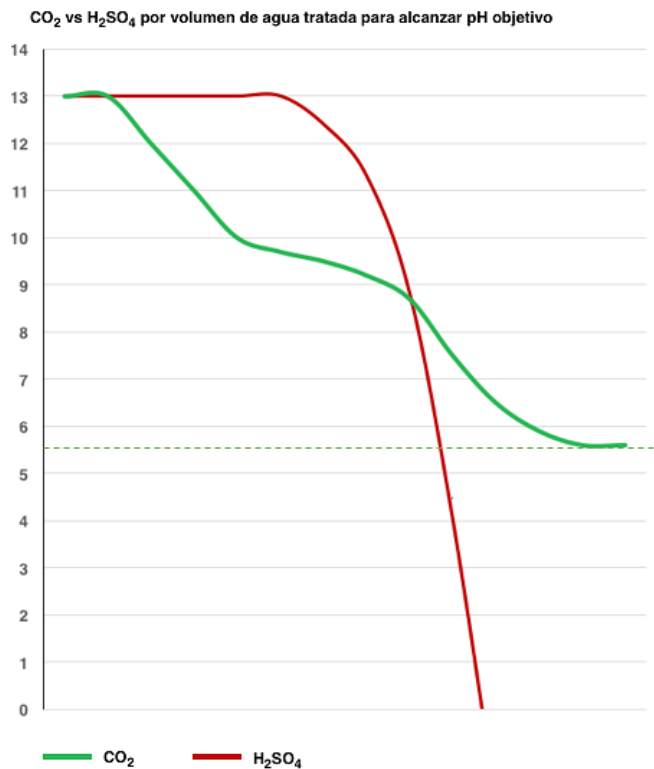


Figura 51. Comparativa del proceso de neutralización del CO₂ frente a ácidos fuertes. Fuente: <https://blogs.nippongases.es/blog/uso-del-co2-como-agente-neutralizante-en-sustitucion-de-acidos-fuertes-minerales-hcl-h2so4/>

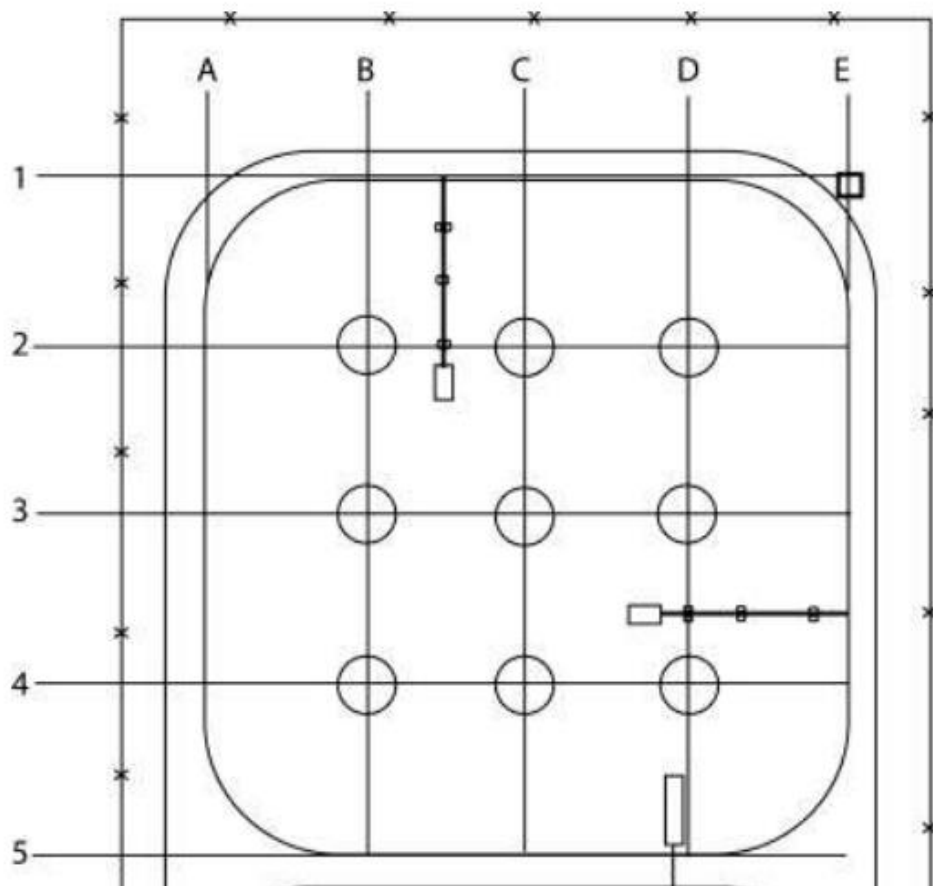


Figura 52. Cuadrícula de muestreo para lagunas, los puntos de muestreo se encuentran dónde están marcados los círculos.
Fuente: Environmental Protection Agency, 2011

Instalación de Lagunas: _____
 Fecha: _____ Hora: _____ Nombre del Operador: _____
 Temperatura del Aire: _____ Estado del Tiempo: _____
 Caudal(m³/día): _____ Estado de las Rejas: _____
 Estado del tamiz: _____
 Estado del ecalizador: _____
 Estado del sedimentador: _____
 Sistemas de impulsión: _____
 Filtros de carbón activado: _____

Observación	Anaeróbica (1)	Facultativa (2)	Facultativa (2')	Facultativa (3)	Maduración (4)
Color de Agua					
Olores					
Espumas y Natas					
Plantas en Taludes					
Plantas Acuáticas					
Erosión de Taludes					
Insectos					
Roedores					
Insectos					
Aves					
Reptiles					
Lodos Acumulados					
Nivel de Agua					
Entradas					
Salidas					

Firma: _____

Figura 53. Lista de verificación del sistema de tratamiento. Adaptado de Oakley,2005.

Tabla LIII. Tipo de muestreo y preservación para análisis en laboratorio. Adoptado de Oakley (2005) e informes de IDEAM.

Parámetros	Tipo de recipiente	Volumen mínimo recomendado para una muestra	Tipo de muestra	Preservación	Período máximo Recomendado de Preservación
<u>Aspectos físicos</u>					
Temperatura (°C)	/	/	Puntual	Determinación <i>insitu</i>	Análisis inmediato
<u>Análisis Físico-Químicos</u>					
pH	/	/	Puntual	Determinación <i>insitu</i>	Análisis inmediato
Oxígeno disuelto (mg/l)	/	/	Puntual	Determinación <i>insitu</i>	Análisis inmediato
Fósforo total (mg/l)	Plástico o cristal	500 ml	Compuesta o puntual	Enfriamiento a 4°C	28 días
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	Plástico o cristal	500 ml	Puntual	Acidificando a pH < 2,0 con H ₂ SO ₄ concentrado y almacenándolas a 4°C	28 días
Nitrato (mg/l)	Plástico o cristal	100 ml	Puntual	Enfriamiento a 4°C	2 días
Sólidos suspendidos (mg/l)	Plástico o cristal	500 ml	Puntual	Enfriamiento a 4°C	7 días
<u>Análisis Bioquímicos</u>					
DBO (mg/l)	Plástico o cristal	2000 ml	Compuesta 6 hs	Enfriamiento a 4°C	24 horas
DQO (mg/l)	Plástico o cristal	500 ml	Compuesta 6 hs	Enfriamiento a 4°C y adición de H ₂ SO ₄ .	28 días
<u>Análisis microbiológicos</u>					
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Plástico o cristal (esterilizado)	100 ml	Puntual	Adición de preservante (tiosulfato de sodio y/o EDTA) y enfriamiento a 4°C	24 horas
Huevos de Helminetos (No./gramo seco)	Plástico o cristal (esterilizado)	5000 ml	Compuesta en 24 horas	Enfriamiento a 4°C	24 horas
Huevos de Helminetos en lodos (No./gramo seco)	Plástico o cristal (esterilizado)	1000 ml	Compuesta en 24 horas	Enfriamiento a 4°C	24 horas

11.1.1 Estudio de impacto ambiental

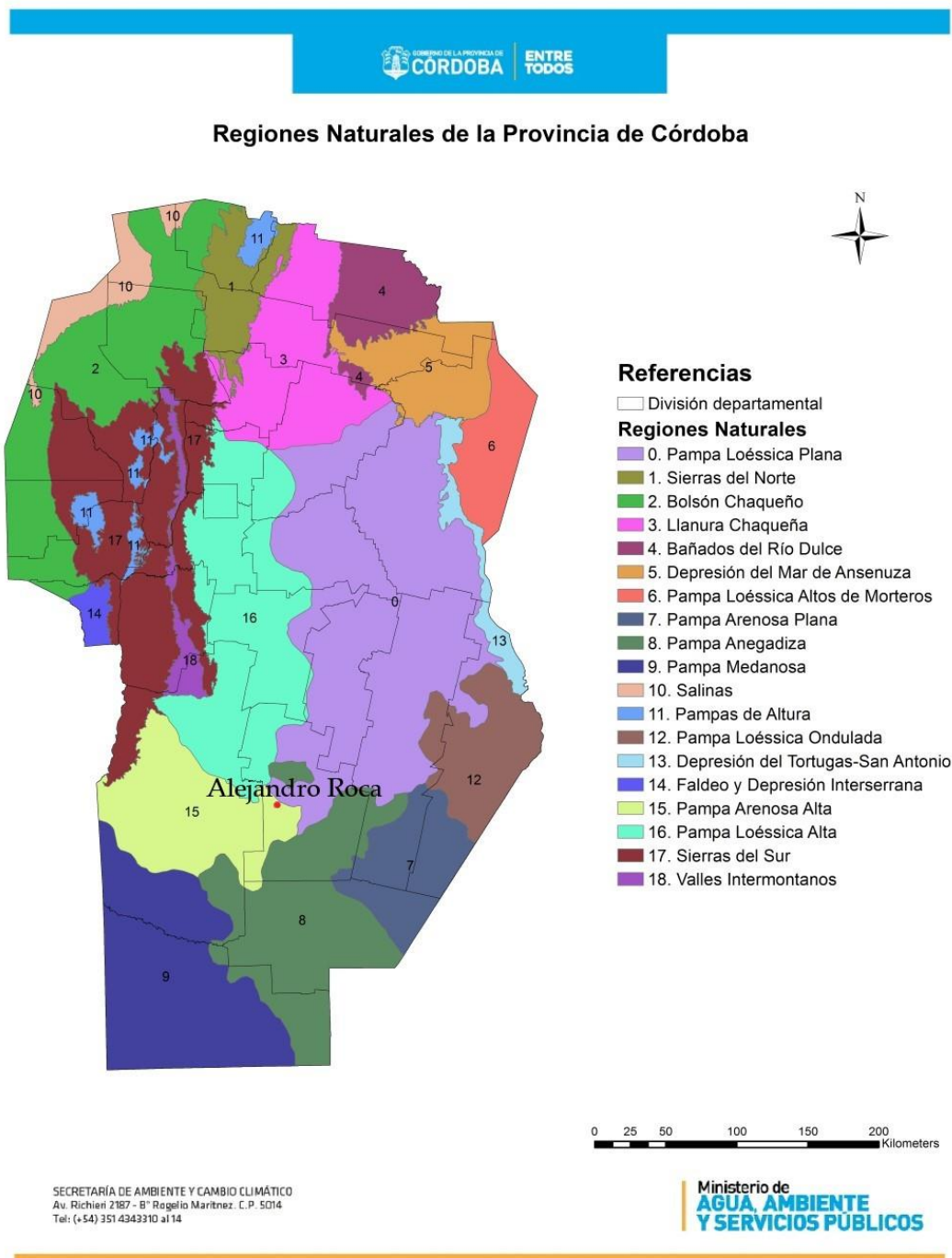


Figura 54. Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba. Fuente: https://secretariadeambiente.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2017/10/Regiones_naturales.pdf

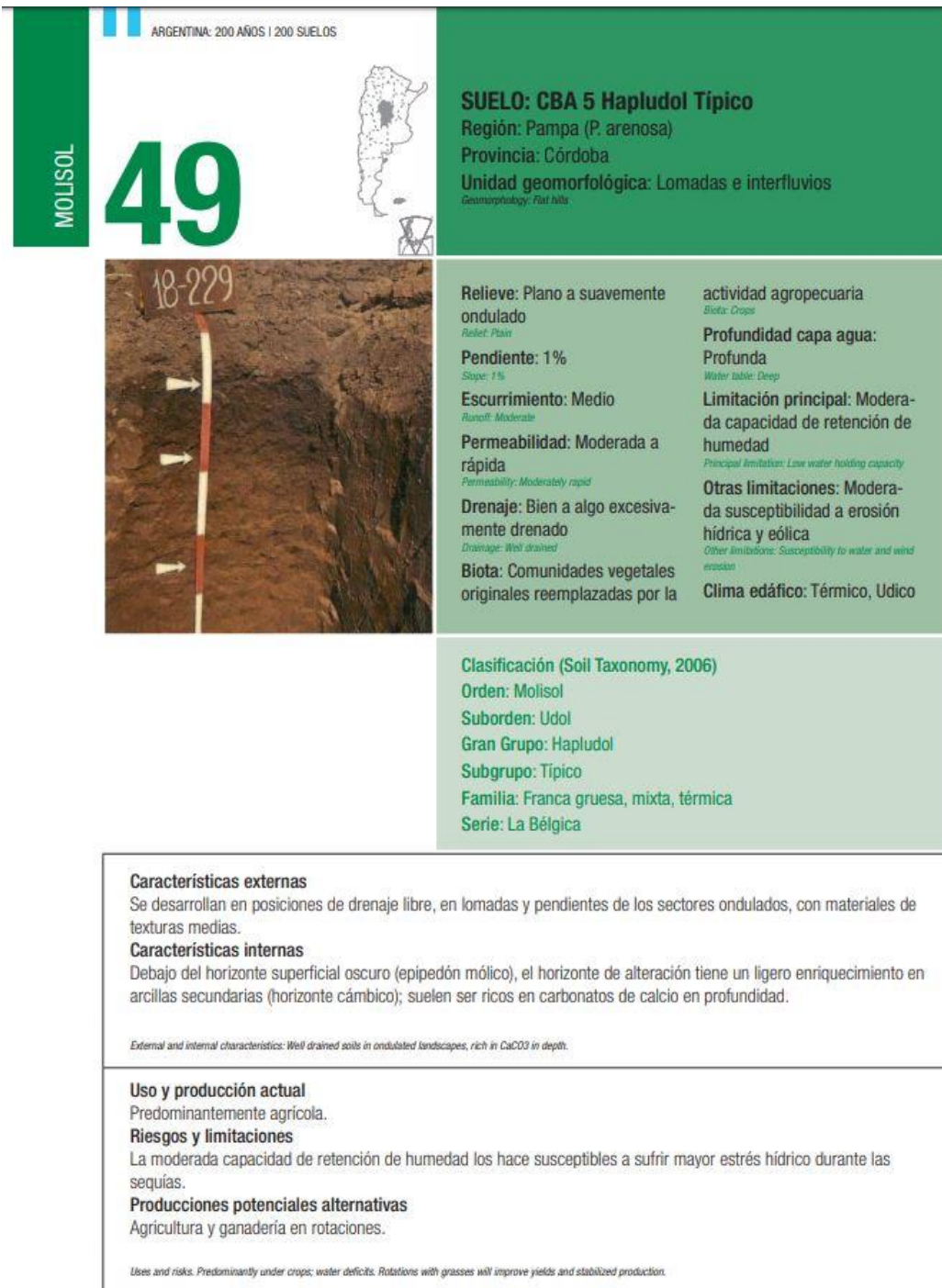


Figura 55. Características del suelo Hapludol Típico. Fuente: Panigatti, 2011

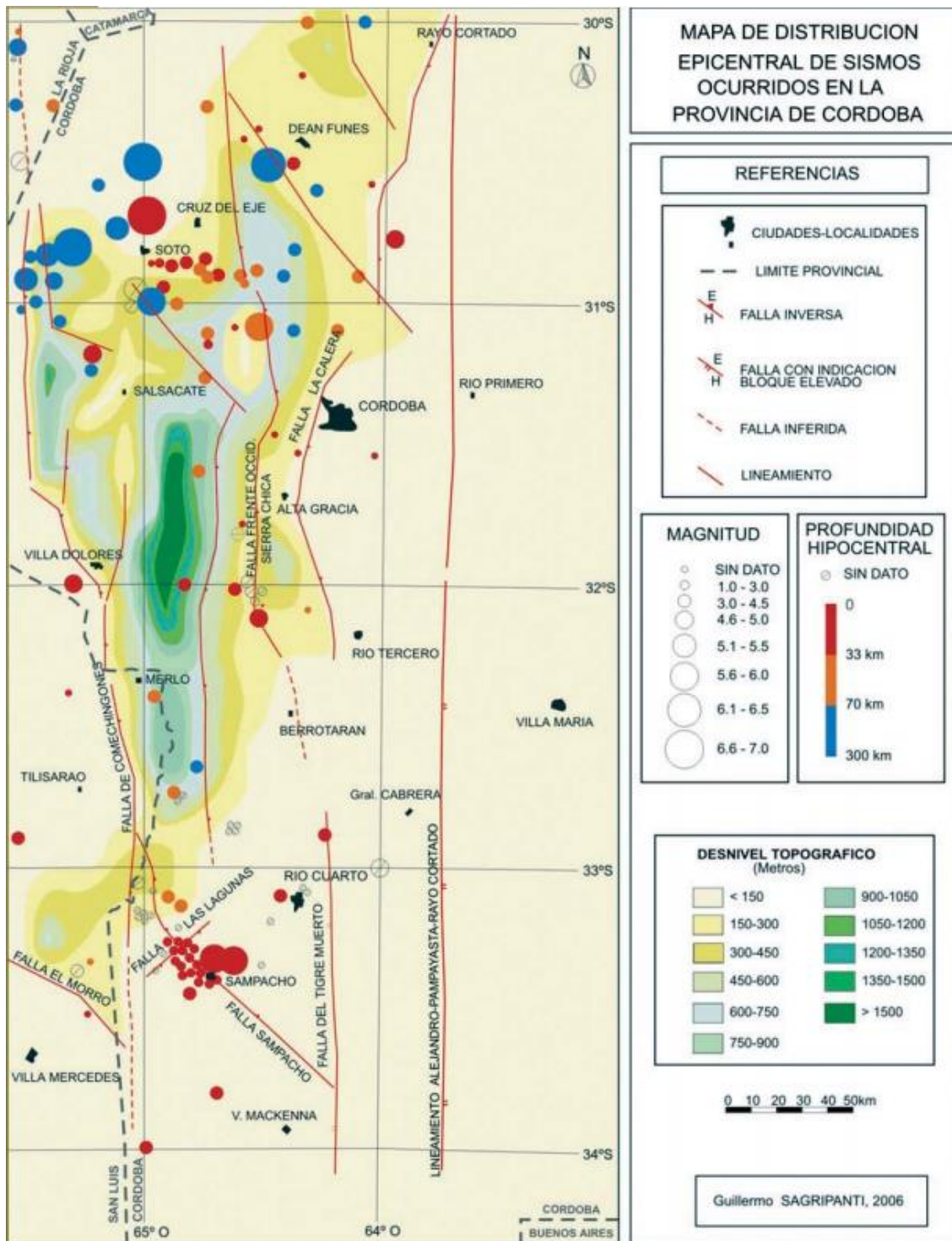


Figura 56. Mapa de distribución de terremotos más relevantes ocurridos en la provincia de Córdoba. Fuente: <http://www.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2013/03/Terremotos.pdf>

Tabla LIV. Valores prefijados para cada aspecto.

Aspecto	Categoría	Valor
Intensidad	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
	Muy Alta	8
	Total	12
Extensión	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
	Crítica	12
Momento	Largo plazo	1
	Mediano plazo	2
	Inmediato	4
	Crítico	8
Persistencia	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
Reversibilidad	Corto plazo	1
	Mediano plazo	2
	Irreversible	4
Sinergia	Sin sinergismo	1
	Sinérgico	2
	Muy sinérgico	4
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	4
Efecto	Indirecto	1
	Directo	4
Periodicidad	Irregular	1
	Periódico	2
	Continuo	4
Recuperabilidad	Recuperable inmediatamente	1
	Recuperable a mediano plazo	2
	Mitigable	8
	Irrecuperable	10

CÁLCULO MONTO MÍNIMO DE ENTIDAD SUFICIENTE (MMES)														
MMES	=	Monto Básico	x	V	x	D								
		\$ 1.305.256,34	x	7,8	x	1,00 = \$ 10.180.999,47								
Monto Básico:		$(NCA_i)^2$	x	Correlación	x	Ajuste								
		272,25	x	\$ 4.794,33	x	1 = \$ 1.305.256,34								
<i>Factor de correlación: según resolución correspondiente</i>														
<i>Ajuste: 1 si Agente contaminante ACUMAR: NO ; 1.5 si Agente Contaminante ACUMAR: SI</i>														
Factores de Vulnerabilidad:														
V	=	1	+	[Tipo Sustrato	x	Prof. Freática]	+	Distancia de los Materiales Peligrosos a Agua Superficial	+	Entorno	=	7,8
		1	+	[0,6	x	3]	+	3	+	2	=	7,8
Tabla I - Tipo de sustrato Suprayacente a la zona saturada														
													Valor	
Arcillas, suelos residuales/limos/loess/arcillas lutitas.													0,4	
Arenas /limolitas/tobas volcánicas/formaciones ígneas metamórficas y volcánicas/areniscas.													0,6	
Gravas coluviales/calizas blandas/suelo no consolidado (sedimentos).													0,8	
Consolidado de rocas porosas o compactas /Desconocimiento del tipo de sustrato.													1	
Tabla II - Profundidad a freática (mbns = metros bajo el nivel del suelo)														
													Valor	
Mayor a los 10 mbns													1	
Entre los 5 y 10 mbns													2	
Menor o igual a 5 mbns													3	
Tabla III - Distancia de los materiales peligrosos a agua superficial														
													Valor	
Actividad Costera													3	
Mayor a 100 metros													0	
Menor o igual a 100 metros													1	
Tabla IV - Entorno														
													Valor	
Comercial/Residencial													2	
Área protegida													6	
Otra													0	
<i>El entorno en caracterizaciones de sitios, con miras a remediaciones ambientales, se suelde considerar de un radio de 500m desde la Planta. Esto se puede observar por ejemplo en la Res. 95/14 del Buenos Aires, o la Res. 326/13 de CABA por nombrar algunas</i>														

Figura 57. Cálculo del MMES, planilla de Excel facilitada por Surco Ambiental, actualizada con el factor de correlación de la Resolución 204/2018 del MAyDS.

CLASES DE FUEGOS		AGENTES EXTINTORES								
		AGUA	AFFF	CO2	POLVO ABC	POLVO BC	HCFC 123	POLVO D	AGUA VAPORIZADA	ACETATO DE POTASIO
	Materiales que producen brasas (madera, papel, cartón y otros).	SI Acción de enfriamiento	SI Enfría y sofoca	NO No apaga fuegos profundos	SI Se funde sobre los elementos	NO No es específico para este uso	SI Absorbe el calor	NO No es específico para este uso	SI Absorbe el calor	SI Absorbe el calor
	Líquidos inflamables (naftas, alcoholes, y otros).	NO Esparce el combustible	SI Sofoca por medio de película de espumígeno	SI Sofoca por desplazar el oxígeno	SI Rompe la cadena de combustión	SI Rompe la cadena de combustión	SI Rompe la cadena de combustión	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso
	Equipos energizados eléctricamente.	NO Conduce la electricidad	NO Conduce la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	SI No es conductor de la electricidad	NO No es específico para este uso	SI No es conductor de la electricidad	NO Conduce la electricidad
	Metales cobustibles (aluminio, magnesio y otros).	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	SI Es necesario utilizar el polvo adecuado para cada riesgo	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso
	Elementos que involucran aceites y grasas de origen vegetal y mineral.	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	NO No es específico para este uso	SI Actúa por saponificación
		AGENTES EXTINTORES: ■ SI ■ NO ES RECOMENDABLE ■ NO - PELIGRO								

Figura 58. Clases de fuegos y agentes extintores recomendados. Fuente: <https://www.maxiseguridad.com.ar/detalle-noticias-maxiseguridad/48/Agentes-Extintores-Clases-de-Fuego>

Auditor:		Número:		
Fecha:		Auditoría:		
Obra:				
Ciudad:		Provincia:		
Nombre del Inspector:				
Contratista:		Responsable:		
Ubicación:				
1.Capacitación ambiental		SI		NO
Personal participante				
Todo el personal afectado a la obra		SI		NO
Parte del personal		SI		NO
2. Contingencias ambiental				
Ocurrieron contingencias ambientales		SI		NO
Progresivas:				
Se elaboraron las actas correspondientes		SI		NO
3.Despeje				
Se despejo lo necesario para nivelación, maniobra de caminos y vehículos		SI		NO
Progresivas:				
Ancho de Pista Aproximado				
Comentarios:				
4. Gestión de Residuos				
Buen manejo de los desechos provocados por las acciones de la obra		SI		NO
Progresivas:				
Hubo vertidos accidentales de aceites y lubricantes				
Tipo:		Nafta	Gasoil	Aceite Otros
Progresivas:				
Se removió inmediatamente el suelo donde ocurrieron derrames		SI		NO
¿Existen certificados de disposición final?		SI		NO
Comentarios:				
5. Protección de la flora y fauna				
a) Flora				
Se aplicaron correctamente todas las medidas de protección de la vegetación		SI		NO
		Buena	Regular	Mala
Progresivas:				
Se talaron árboles de cualquier especie		SI		NO
N° de árboles:		Especies		
Progresivas:				
Si se talaron árboles de estas características, existen los Estudios Ambientales que avalaron esta acción		SI		NO
Comentarios:				
b) Fauna				
Se aplicaron correctamente todas las medidas de protección de la fauna		SI		NO
		Buena	Regular	Mala
Progresivas:				
Comentarios:				
6.Cartelería				
Colocación de carteles correspondiente		SI		NO
Progresivas:				
7.Cambios no Contemplados				
Existió cambio no contemplado en el EIA (cambio de metodología, de traza)		SI		NO
¿Cuál?				
Progresivas:				
8. Gestión de materiales peligrosos				
Se encuentra capacitado el personal en materiales peligrosos		SI		NO
Rotulación e identificación de contenedores		SI		NO
Almacenamiento adecuado		SI		NO
Se tomaron las medidas de prevención correspondientes		SI		NO
Comentarios:				
9. Zanjeo y Tapada				
Se realizó separación edáfica		SI		NO
		Buena	Regular	Mala
Progresivas:				
Se arrojaron a la zanja materiales de desechos de la obra		SI		NO
Se modificaron u obstruyeron patrones de drenajes naturales		SI		NO
Progresivas:				
Comentarios:				

Figura 59. Planilla de Auditoría Ambiental propuesta. Fuente: <http://secretariadeambienteycambioclimatico.cba.gov.ar/wp-content/uploads/2016/05/PGA-La-Costa.pdf>

INFORME DE NO CONFORMIDADES	
INFORME N°:	FECHA:/...../.....
Auditor Responsable: (Indicar Nombre y Apellido)	Sector Auditado:
Auditor/es Auxiliar/es:	
No Conformidad observada:	
Incumplimiento de: (indicar el procedimiento no cumplido)	
Firma del Auditor	Firma y aclaración del auditado:
	Firma y aclaración del responsable del área:
Acción correctiva inmediata: (indicar plazo máximo por el auditor en cada caso)	
La acción correctiva será cumplida el: .../.../....	
VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA MEDIDA CORRECTIVA INMEDIATA	
Firma y aclaración del auditado:	Fecha:/...../.....
Firma y aclaración del auditor:	Fecha:/...../.....
Firma y aclaración del responsable del área:	Fecha:/...../.....

Figura 60. Planilla de no conformidades y oportunidad de mejora. Fuente: Ministerio de Servicios Públicos, 2019.

EVENTO	OBSERVACIONES
A. Preparación, Nivelación, Emplazamiento de la Estación de Bombeo	
A1. Destrucción de patrimonio arqueológico	
A2. Destrucción de patrimonio paleontológico	
A3. Destrucción de árboles	
A4. Destrucción de otros árboles/arbustos protegidos	
A5. Destrucción de infraestructura humana superficial	
A6. Destrucción de infraestructura enterrada	
A7. Desmoronamiento de laderas	
A8. Generación de procesos erosivos	
A9. Generación de vibraciones de intensidad mayor a lo permitido	
A10. Generación de ruido con niveles mayores a los permitidos	
A11. Generación de ruido en horario no permitido	
A12. Remoción innecesaria de suelo	
A13. Mala implementación de sistemas de drenajes	
A14. Alteración de líneas de drenajes naturales	
A15. Utilización de áridos mayor a lo previsto	
A16. Utilización de áridos no permitidos	
A17. Utilización excesiva de agua	
B. ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN	
B1. Accidente con ganado	
B2. Accidente con fauna terrestre	
B3. Remoción innecesaria de suelo	
B4. Cantidad de voladuras superior a la permitida	
B5. Frecuencia de voladuras superior a la permitida	
B6. Ubicación de voladuras en sitios no habilitados	
B7. Generación de vibraciones de intensidad mayor a la permitida	
B8. Exposición de excavaciones en tiempos mayores a los previstos	
B9. Acopio del material extraído en sitios inadecuados	
B10. Acopio inapropiado del suelo removido	
B11. Generación del ruido con niveles mayores a los permitidos	
B12. Generación de ruido en horario no permitido	
B13. Generación de procesos erosivos	
C. MANIPULEO DE MATERIALES	
C1. Transporte y almacenamiento de explosivos no permitidos	
C2. Transporte y almacenamiento de explosivos en cantidades no previstas	
C3. Derrames de combustibles o aceites durante el transporte y almacenamiento	
C4. Pérdidas de combustibles o aceites en sitios de almacenamiento	
C5. Incorrecta re disposición de los horizontes del suelo	
D. OBRADORES	
D1. Tratamiento inadecuado de residuos sólidos/domésticos	
D2. Disposición final de residuos sólidos en sitios inadecuados	
D3. Ubicación o reubicación del obrador en sitios no habilitados	
D4. Ubicación de las áreas de acopio de sitios no habilitados	
D5. Consumo innecesario o derroche de agua	
D6. Utilización innecesaria de insumos químicos	
E. ACCIONES INDUCIDAS	
E1. Circulación vehicular adicional favorecida por la accesibilidad	
E2. Extracción de flora	
E3. Extracción de fauna	
E4. Tala de árboles	
E5. Extracción de fósiles con valor testimonial	
E6. Extracción de artefactos arqueológicos con valor testimonial	
E7. Asentamientos humanos y viviendas	
E8. Actividades agropecuarias en la zona	
E9. Fuegos accidentales o intencionales no planificados	
F. VEHÍCULOS Y MAQUINARIAS	
F1. Circulación vehicular en caminos no permitidos	
F2. Circulación vehicular a velocidades no permitidas	
F3. Atropellamiento de animales silvestres o domésticos	
F4. Utilización de equipos y maquinarias con mal mantenimiento	

Figura 61. Planilla de registro de eventos generadores de impacto ambiental. Fuente: Ministerios de Servicios Públicos, 2019.

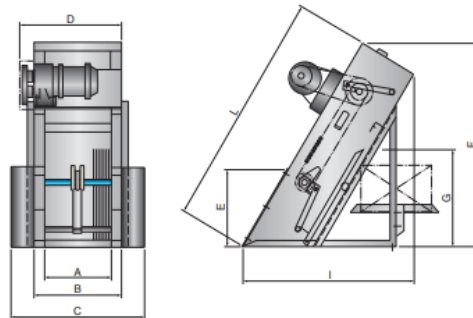
11.2 Equipos

Rejas de limpieza automática Tsurumi modelo KMS-300L con 30 mm de separación entre barras.

Coarse Screen (Bar Spacing: 10 - 50mm)

Model	Motor Output kW	Bar Spacing mm					Overall Height mm	Width of Waterway mm	Installation Angle	Dry Weight kg
		Capacity m ³ /h								
		10mm	20mm	30mm	40mm	50mm				
KMA-200S	0.1	38	45	47	49	50	720	300 - 400	55°	33
KMA-200M	0.1	38	45	47	49	50	910	300 - 400	55°	37
KMA-200L	0.1	38	45	47	49	50	1110	300 - 400	55°	40
KMA-250S	0.1	48	56	59	61	62	720	350 - 450	55°	34
KMA-250M	0.1	48	56	59	61	62	910	350 - 450	55°	38
KMA-250L	0.1	48	56	59	61	62	1110	350 - 450	55°	41
KMA-300S	0.1	58	67	71	74	79	720	400 - 500	55°	35
KMA-300M	0.1	58	67	71	74	79	910	400 - 500	55°	39
KMA-300L	0.1	58	67	71	74	79	1110	400 - 500	55°	42
KMS-300S	0.1	75	89	89	95	100	870	400 - 500	60°	42
KMS-300M	0.1	75	89	89	95	100	1215	400 - 500	60°	50
KMS-300L	0.1	75	89	89	95	100	1560	400 - 500	60°	57

KMS-300S
KMS-300M
KMS-300L



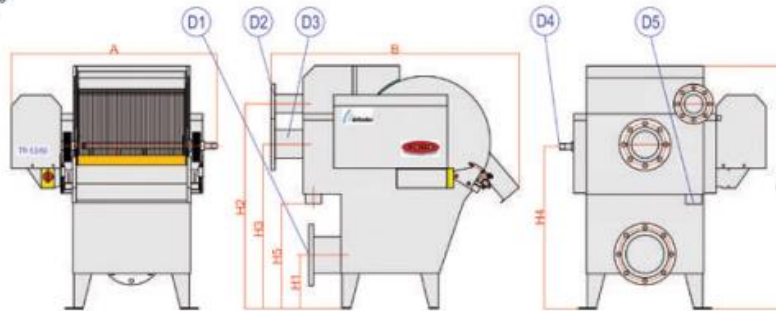
Unit: mm

Model	Effective Width A	Width of Frame B	Overall Width C	Max. Width of Upper Part D	Max. Water Level E	Overall Height F	Discharge Level of Solids G	Space I	Overall Length of Frame L
KM-200S	200	253	460	310	250	720	310	670	868
KM-200M	200	253	460	310	250	910	475	800	1102
KM-200L	200	253	460	310	250	1110	670	945	1352
KM-250S	250	303	510	360	250	720	310	670	868
KM-250M	250	303	510	360	250	910	475	800	1102
KM-250L	250	303	510	360	250	1110	670	945	1352
KM-300S	300	353	560	410	250	720	310	670	868
KM-300M	300	353	560	410	250	910	475	800	1102
KM-300L	300	353	560	410	250	1110	670	945	1352
KMA-200S	200	253	460	310	250	720	310	670	868
KMA-200M	200	253	460	310	250	910	475	800	1102
KMA-200L	200	253	460	310	250	1110	670	945	1352
KMA-250S	250	303	510	360	250	720	310	670	868
KMA-250M	250	303	510	360	250	910	475	800	1102
KMA-250L	250	303	510	360	250	1110	670	945	1352
KMA-300S	300	353	560	410	250	720	310	670	868
KMA-300M	300	353	560	410	250	910	475	800	1102
KMA-300L	300	353	560	410	250	1110	670	945	1352
KMS-300S	284	368	570	420	200	870	400	830	1000
KMS-300M	284	368	570	420	200	1215	730	996	1400
KMS-300L	284	368	570	420	200	1560	1040	1150	1800

Figura 62. Características de las rejas de barras de limpieza automática de cadena con limpieza posterior. Fuente: https://www.tsurumi-global.com/products/water_treatment_equipment/pdf/KE_KS_KW_KM_IA122-A.pdf

Tamiz rotativo TR 63/120 con malla perforada de 2 mm.

Tamiz Rotativo Gama 63
Especificaciones Técnicas



Gama 63 - Especificaciones Técnicas, mm (in)																
Modelo	Diámetro Tambor	Longitud Tambor	Potencia Kw (HP)	A	B	C	Salida		Rebose		Entrada		Limpieza		Purga	
							D1	H1	D2	H2	D3	H3	D4	H4	D5	H5
TR 63/60	630 (24 3/4)	600 (23 5/8)	0.55 (0.75)	1,140 (44 7/8)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 250 ANSI 10"	322 (12 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 200 ANSI 8"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/90	630 (24 3/4)	900 (35 3/8)	0.55 (0.75)	1,440 (56 3/4)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 250 ANSI 10"	322 (12 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 200 ANSI 8"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/120	630 (24 3/4)	1.200 (47 1/2)	0.75 (1.00)	1,740 (68 1/2)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 300 ANSI 12"	347 (13 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 250 ANSI 10"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)
TR 63/150	630 (24 3/4)	1.500 (59)	0.75 (1.00)	2,040 (80 3/8)	1,375 (54 1/8)	1,345 (53)	DN 350 ANSI 14"	372 (14 5/8)	DN 100 ANSI 4"	1,135 (44 5/8)	DN 300 ANSI 12"	910 (35 7/8)	1"	903 (35 1/2)	3"	580 (22 7/8)



Gama 63 - Caudales Máximos Agua Limpia, m³/h (US gpm)								
Luz de Malla	Malla de Rejilla ▼▼, mm (in)						Malla Perforada Ø, mm (in)	
	0.15 (0.006)	0.25 (0.01)	0.50 (0.02)	0.75 (0.03)	1.00 (0.04)	2.00 (0.08)	2.00 (0.08)	3.00 (0.12)
TR 63/60	23 (101)	36 (159)	63 (278)	84 (370)	101 (444)	144 (635)	57 (252)	57 (252)
TR 63/90	35 (152)	54 (239)	95 (419)	127 (558)	152 (670)	217 (957)	86 (380)	86 (380)
TR 63/120	46 (203)	72 (319)	127 (558)	169 (744)	203 (892)	290 (1,276)	115 (507)	115 (507)
TR 63/150	58 (254)	91 (400)	159 (699)	212 (932)	254 (1,118)	363 (1,598)	144 (635)	144 (635)

Figura 63. Especificaciones técnicas de tamices rotativos Gama 63 marca Defender. Fuente: <https://www.toroequipment.com/wp/wp-content/uploads/2015/09/Tamices-Rotativos-Defender-Toro-Equipment-2.pdf>

Bomba Tsurumi Pumps, modelo 100BZ411

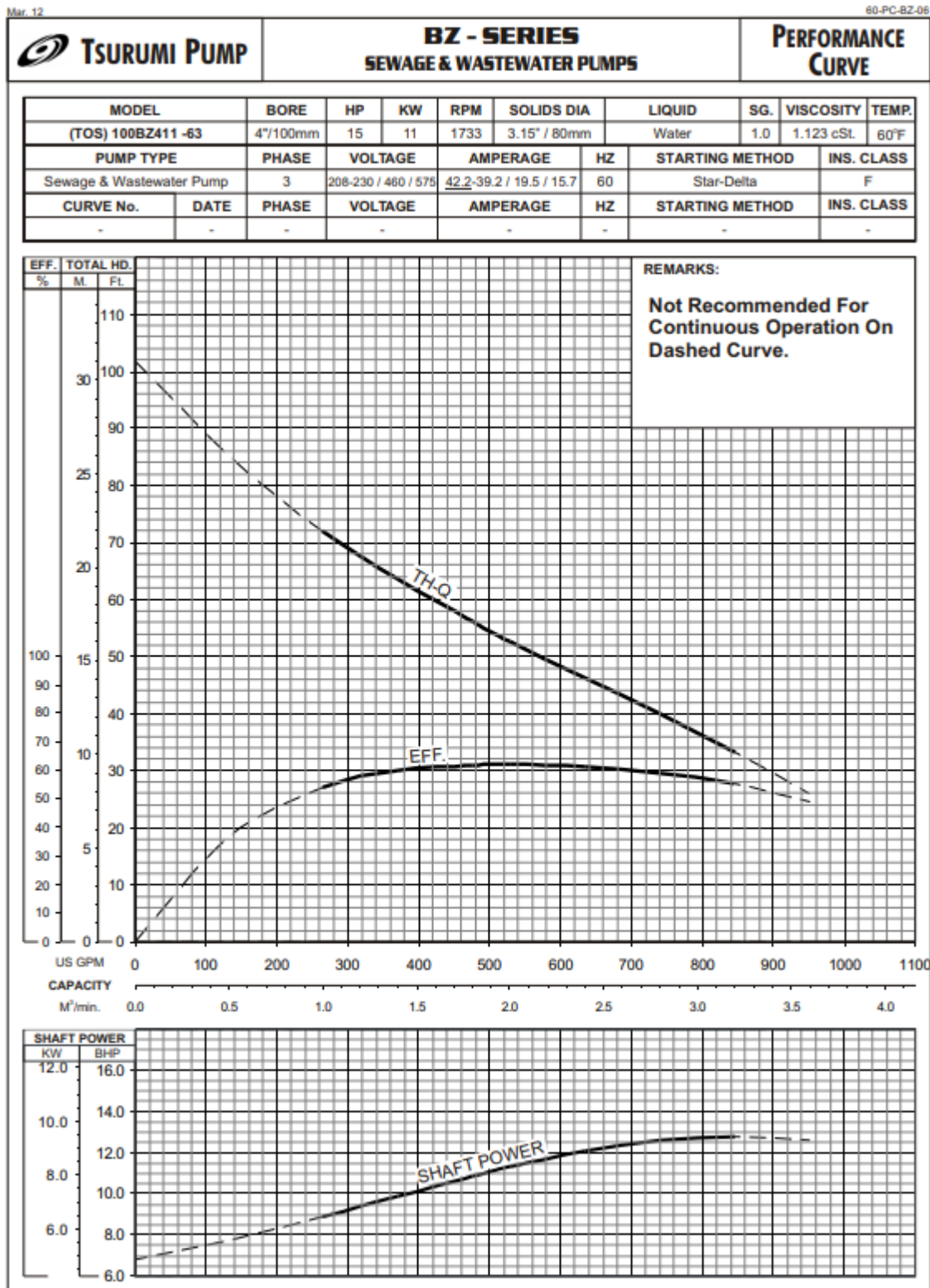


Figura 64. Curvas de nivel para las bombas Tsurumi, modelo 100BZ411. Fuente: [https://www.tsurumipump.com/assets/1/6/Perf_06_\(TOS\)100BZ411-63.pdf](https://www.tsurumipump.com/assets/1/6/Perf_06_(TOS)100BZ411-63.pdf)

Bomba Tsurumi Pump, modelo 100C222

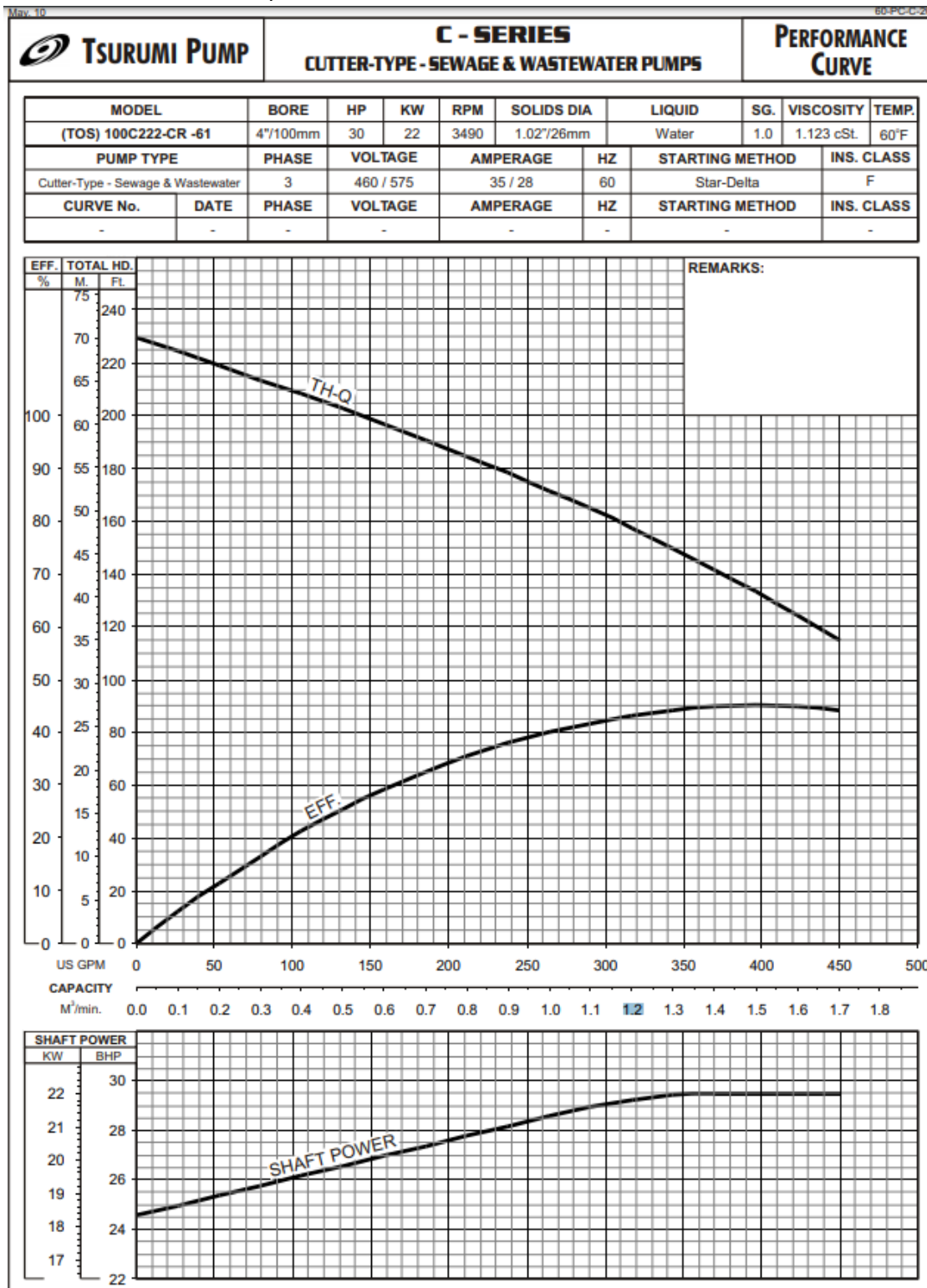


Figura 65. Curvas de nivel para las bombas Tsurumi, modelo 100C222. Fuente: [https://www.tsurumipump.com/assets/1/6/Perf_20_\(TOS\)100C222-CR-61_\(May.10\).pdf](https://www.tsurumipump.com/assets/1/6/Perf_20_(TOS)100C222-CR-61_(May.10).pdf)

Bomba Tsurumi Pump, modelo 50UT2.4S

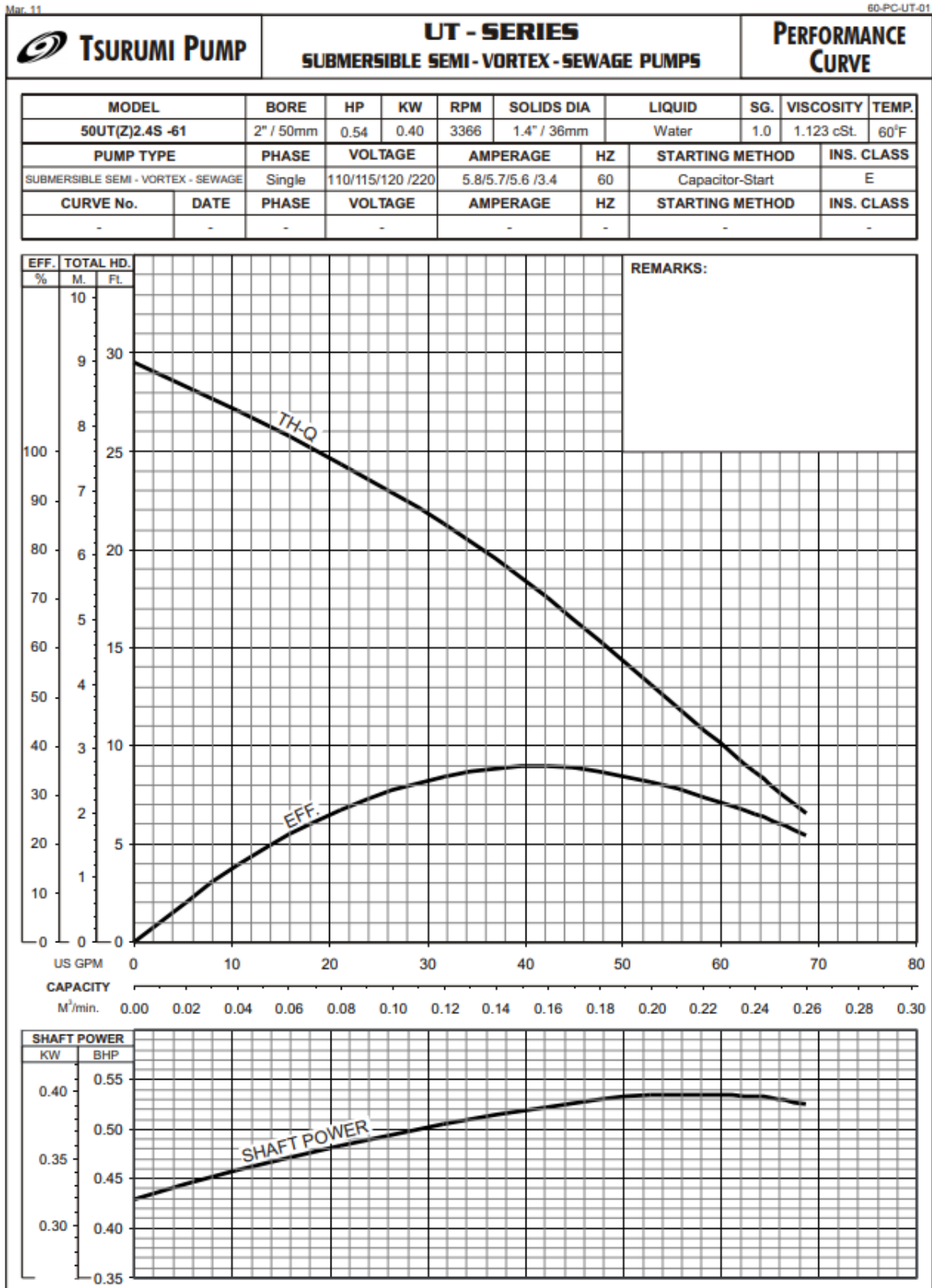


Figura 66. Curva de nivel para la Bomba Tsurumi Pump modelo 50UT2.4S. Fuente: https://www.tsurumipump.com/assets/1/6/PER_50UT2.4S-61.pdf

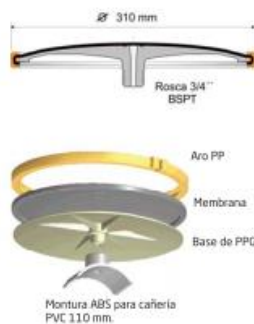
Difusores marca REPICKY modelo CB-300.



Información Técnica

Los difusores de membrana Repicky se fabrican en dos versiones, de burbuja fina y de burbuja gruesa.

Los primeros, modelo RG-300 con miles de microperforaciones, permiten obtener valores muy altos de transferencia de O_2 siendo ideales para su instalación en los reactores aeróbicos de las plantas de tratamiento de efluentes, tanto industriales como cloacales.



Para otros diámetros o materiales de cañerías consultar el tipo de adaptador.

Por otra parte los difusores de burbuja gruesa modelo CB-300, se utilizan en tanques de equalización, digestores aeróbicos y también en cámaras de aireación de efluentes con muy baja demanda de O_2 (DBO).

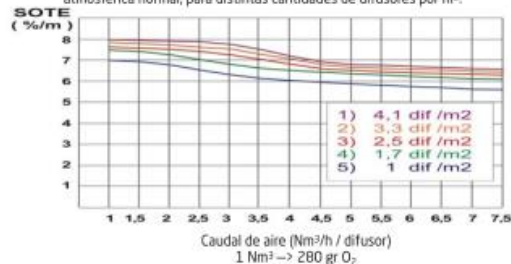
Consulte por nuevos materiales disponibles para su efluente industrial.

Difusor de burbuja fina | RG-300

Rango de caudal:	2 a 8 $Nm^3/hora$
Caudal de diseño:	5 $Nm^3/hora$
Pérdida de carga:	20 mbar para 2 $Nm^3/hora$ 40 mbar para 5 $Nm^3/hora$ 70 mbar para 8 $Nm^3/hora$
Densidad:	1 a 6 difusores/ m^2
SOTE:	15,4 gr. (5,5%) a 22,4 gr. (8%) por m^3/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	2,5 – 6 Kg. O_2/KWh



Transferencia de O_2 para el modelo RG-300 por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor [m^3/h] a 20 °C, agua limpia y presión atmosférica normal, para distintas cantidades de difusores por m^2 .



La membrana de EPDM o Acrilo nitrilo de ambos modelos, permite operar en forma intermitente, sin que ingrese líquido a las cañerías sumergidas facilitando el arranque de los sopladores de aire.

Difusor de burbuja gruesa | CB-300

Rango de caudal:	3 a 25 $Nm^3/hora$
Caudal de diseño:	10 $Nm^3/hora$
Pérdida de carga:	20 mbar para 3 $Nm^3/hora$ 40 mbar para 10 $Nm^3/hora$ 70 mbar para 25 $Nm^3/hora$
Densidad:	0,5 a 3 difusores/ m^2
SOTE:	5,1 gr. (1,8%) a 7,4 gr. (2,6%) por m^3/h de aire y por m de profundidad.
Eficiencia de transferencia de O_2 :	0,8 – 2 Kg. O_2/KWh



Figura 67. Folletos de difusores REPICKY de burbuja fina RG-300 y burbuja gruesa CB-300. Fuente: <http://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sistemas-de-Aireaci%C3%B3n-Repicky.pdf>

Soplador modelo R 2.0, marca REPICKY

Tabla de Selección de Sopladores trabajando como Compresor

Los valores indicados con una tolerancia de +/- 5 %, tanto de caudal de aspiración como de potencia del cabezal sin accesorios, corresponden a presión atmosférica normal P= 1013 mbar y temperatura de admisión del aire T = 20°C.
Para otros gases y/o condiciones operativas, consultar.



Modelo	RPM	100		200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
		Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP	Q m³/h	P HP
R100	1450	29.6	0.4	23.1	0.5	18	0.7	13.7	0.9												
	2250	54	0.6	47.5	0.8	42.2	1.1	38.1	1.4	34.3	1.6	30.8	1.8								
	2900	74	0.7	67.3	1.1	62.2	1.4	57.9	1.6	54.1	2.0	50.6	2.3	47.4	2.7						
R200	1450	63	0.6	52	0.9	43.3	1.3	35.9	1.6												
	2250	112	0.9	101	1.4	92.1	1.9	84.6	2.4	78.1	2.9	72.1	3.4								
	2900	152	1.2	140	1.8	132	2.4	124	3.1	118	3.8	112	4.5	106	5.1	101	5.7				
R300	1450	89	0.6	80	1.1	65	1.5	56	1.9	48	2.4										
	2250	156	0.9	142	1.6	131	2.3	122	3.0	114	3.7	107	4.4	100	5.0						
	2900	210	1.2	196	2.0	185	3.0	176	3.9	168	4.8	161	5.6	154	6.5	148	7.5				
R500	1450	142	1.0	132	1.6	112	2.3	101	3.0	91	3.6	82	4.3	74	4.9						
	2250	241	1.5	225	2.5	211	3.6	200	4.6	190	5.6	181	6.7	173	7.8						
	2900	322	1.9	306	3.3	292	4.6	281	5.9	271	7.3	262	8.6	254	10.0	246	11.3	238	12.6		
R600	1450	195	1.2	158	2.1	138	3.0	120	3.9	105	4.9										
	2250	319	1.6	293	3.3	272	4.7	255	6.1	239	7.5	225	8.9	212	10.3						
	2900	429	2.4	402	4.2	382	6.0	364	7.9	349	9.7	335	11.4	321	13.3	309	15.1				
R1000	1450	297	2.0	275	3.3	259	4.6	245	5.8	232	7.2	221	8.4	210	9.7						
	2250	487	3.1	466	5.1	449	7.1	435	9.1	422	11.1	411	13.1	400	15.0	390	17.1	381	19.0		
	2900	641	4.0	620	6.6	603	9.1	589	11.7	577	14.3	565	16.8	555	19.4	545	21.9	535	24.5	527	27.1
R1200	1450	433	2.5	407	4.4	387	6.2	370	8.1	355	9.8	341	11.8	329	13.5	317	15.3				
	2250	703	4.0	677	6.8	657	9.6	640	12.4	625	15.2	612	18.0	599	21.0	587	23.8				
	2900	922	5.0	897	8.7	877	12.4	860	16.0	845	19.7	831	23.3	819	27.0	807	30.6				
R1.5	1450	605	4.0	570	6.5	543	9.0	520	11.6	499	14.2	481	16.7	464	19.2	448	21.7				
	2250	981	6.2	947	10.1	920	14.1	897	18.0	877	21.9	859	25.9	840	29.9	825	33.8	809	37.7	795	41.7
	2900	1288	8.0	1253	13.1	1226	18.1	1203	23.2	1183	28.3	1164	33.4	1147	38.4	1131	43.6	1115	48.6	1101	53.7
R2.0	1450	892	5.1	850	8.8	816	12.5	789	16.2	763	19.8	740	23.5	719	27.2	699	30.8				
	2250	1437	8.0	1395	13.7	1362	19.4	1333	25.0	1308	30.7	1285	36.5	1264	42.2	1244	47.8				
	2900	1881	10.3	1838	17.6	1805	24.9	1776	32.3	1751	39.7	1728	46.9	1707	54.3	1688	61.7				
R2.5	1450	1269	7.5	1213	13.3	1170	19.2	1133	25.1	1100	31.0	1070	36.8								
	2250	2039	11.6	1983	20.7	1940	29.8	1903	38.9	1870	48.0	1840	57.1								
	2900	2665	15.0	2609	26.7	2565	38.4	2528	50.2	2495	61.9	2465	73.7								
R3.0	1450	1268	7.4	1212	12.5	1168	17.8	1131	22.9	1098	28.1	1068	33.3	1041	38.5	1015	43.7	990	48.8		
	2250	2037	11.4	1981	19.5	1937	27.5	1900	35.5	1867	43.6	1837	51.6	1810	59.7	1784	67.7	1759	75.8	1736	83.8
	2900	2517	14.0	2462	23.8	2418	33.7	2381	43.5	2348	53.3	2318	63.1	2290	72.9	2264	82.7	2240	92.6		
R3.5	1450	1707	9.2	1626	16.2	1562	23.3	1508	30.3	1461	37.2	1418	44.3	1377	51.3	1340	58.4				
	2250	2097	11.1	2016	19.6	1953	28.0	1899	36.6	1851	45.0	1808	53.4	1768	62.0	1731	70.4				
	2900	2749	14.3	2667	25.1	2605	36.1	2551	46.9	2503	57.9	2460	68.2	2420	79.6	2382	90.6				
R3.8	1450	2408	12.2	2280	22.2	2180	32.2	2098	42.3	2020	52.3	1952	62.4								
	2250	2967	14.7	2838	26.9	2738	38.9	2654	51.2	2578	63.1	2510	75.3								
	2900	3897	18.9	3768	34.5	3668	50.1	3583	65.6	3509	81.2	3440	96.7								
R4.0	1450	1676	9.4	1600	16.3	1529	23.2	1480	30.1	1442	36.9	1400	43.7	1363	50.6	1326	57.5	1293	64.4	1264	77.2
	2250	2510	13.6	2432	23.6	2372	33.6	2320	43.6	2274	53.4	2233	63.4	2196	73.5	2160	83.4	2126	93.4	2094	103
	2900	3065	16.4	2987	28.4	2927	40.5	2876	52.6	2830	64.6	2788	76.6	2750	88.7	2714	101	2681	113	2648	125
R4.5	1450	2262	11.7	2160	21.0	2080	30.3	2014	39.6	1953	48.8	1900	58.1	1848	67.3	1800	77				
	2250	3382	17.1	3281	30.5	3202	43.9	3134	57.3	3074	70.8	3020	84.2	2970	97.7	2923	111				
	2900	4131	20.6	4028	36.8	3950	55.7	3882	69.3	3822	85.5	3768	102	3718	118	3670	134				
R5.0	1450	5128	25.3	5025	45.2	4947	65.2	4978	84.6	4818	105	4763	125	4714	145						
	2250	7720	40.4	7545	70.5	7405	101	7290	131	7185	161	7090	191	7000	221	6920	252				
	2900	9120	47.2	8940	82.6	8805	118	8690	153	8595	189	8490	224	8400	260						
R6.0	1450	5890	34.5	5675	58.2	5510	81.9	5370	106	5245	129	5130	153	5025	177	4925	200	4835	224	4745	247
	2250	8780	51.8	8560	87.3	8390	123	8250	158	8130	194	8015	229	7910	265	7810	300	7710	336	7610	371
	2900	10260	58.3	10050	96.3	9890	138	9745	178	9620	218	9510	258	9405	298	9300	338	9210	378		
R6.5	1450	7930	42.6	7670	74.4	7460	106	7280	138	7130	170	6990	201	6850	233	6730	265				
	2250	10070	53.3	9800	92.9	9600	133	9420	172	9260	212	9120	252	8990	291	8860	331				
	2900	12200	63.9	11940	112	11730	159	11550	207	11400	254	11250	302	11120	350	11000	397				
1350	13800	71.9	13540	126	13330	179	13150	233	13000	286	12850	340	12720	393	12600	447					

Figura 68. Folleto de sopladores REPICKY. Fuente: <http://repicky.com.ar/site/wp-content/uploads/2016/01/Folleto-Sopladores-y-Bombas-RA-Repicky.pdf>

Filtros de carbón activado granular de la marca IMA Water, modelo DEC/M-1600.

Modelo	Q.Máx. m ³ /h	Q.Lav. m ³ /h	Carga Kgs
DEC/M-780	12,0	16,3	330
DEC/M-1088	17,0	20,0	570
DEC/M-1250	20,0	27,0	675
DEC/M-1600	27,0	35,0	900

Modelo	Ancho (mm)	Alto (mm)
DEC/M-780	780	2200
DEC/M-1088	1088	2200
DEC/M-1250	1250	2200
DEC/M-1600	1600	2200

Figura 69. Medidas de los equipos de carbón activado Marca IWA Water. Fuente: <https://www.plantasdeosmosis.com/productos/filtros-de-agua-industriales/filtros-de-carbon-activo/50/filtro-carbon-activo-de-valvulas-automaticas.html>

Equipos SOLVOCARB®-D (arriba) y SOLVOCARB®-B (abajo) de la marca Linde.

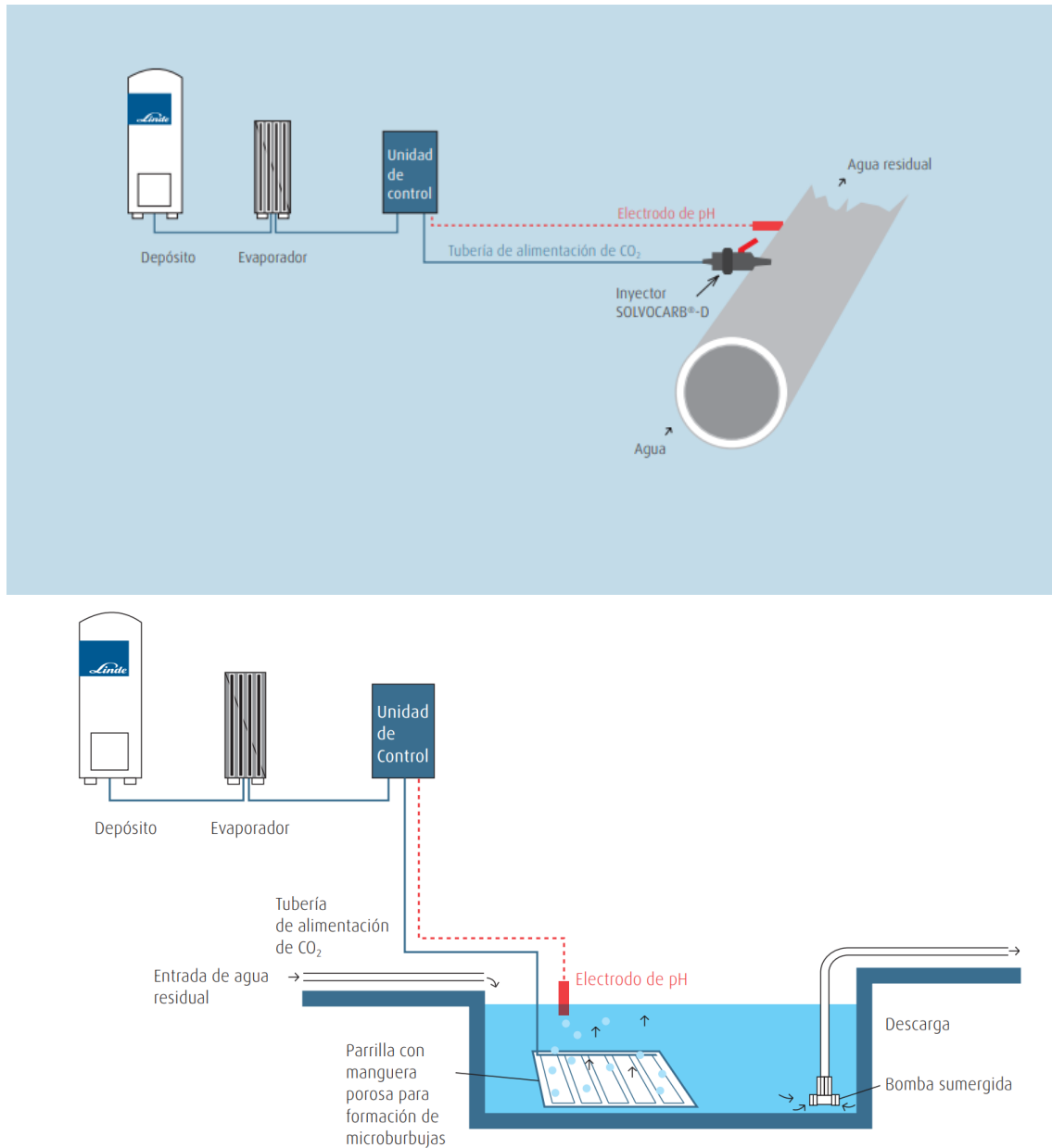


Figura 70. Esquemas del equipo SOLVOCARB®-D (superior) y SOLVOCARB®-B (inferior) de la marca Linde.
Fuente: https://www.linde-gas.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605_tcm316-60219.pdf

Draga marca DRAGFLOW, modelo DRP60.

DRAGFLOW DRP SERIES – DRP60

WORKING DIMENSIONS	
Length:	5.3 m (16 ft. 5 in.)
Width:	4.3 m (14 ft. 1 in.)
Height:	3 m (9 ft. 10 in.)
Weight:	5,5 tons

INTERNATIONAL SHIPPING DIMENSIONS	
Shipping Method:	One (1) containers 40'

FLOTATION	
Dimensions:	Two pontoons 4.5 m x 1 m x 1.25 m with Central Platform
Draft:	80 – 90 cm

WORKING CAPACITY	
Capacity:	150 m ³ /h – 600 m ³ /h (660 gpm – 2640 gpm)
Head:	28 m – 8 m (91 ft. – 26 ft.)
Working Depth:	Up to 100 m (328 ft.)

POWER SOURCE	
Type:	On-shore Electric Power Generator
Minimum required Power:	130 kVA

SUBMERSIBLE DREDGE PUMP	
Type:	EL60A/B/HC
Discharge Diameter:	150 mm – 250 mm (6in. – 10 in.)
Impeller Diameter:	440 mm (1 ft. 5 in.) / 3 blades, closed
Max. Solid Handling:	60 mm (2.36 in.) / 90 mm (3.5 in.)
Speed:	980 r.p.m.
Phases:	3 Phases
Frequency:	50 Hz / 60 Hz
Voltage:	On request
Insulation Class:	H
Power:	44 kW (60HP)

JET RING SYSTEM	
Water capacity:	60 m ³ /h
Pressure:	6 bar – 7 bar
Drive:	On-barge horizontal high pressure pump

PROPULSION	
Primary System:	Four (4) 50 m steel Winches (available up to 110 m)
Secondary System:	Helix Propeller (OPTIONAL)

ELECTRICAL SYSTEM	
Voltage:	On request

SAFETY	
Features:	Completely remote controlled dredge with no operators on-board. The dredge is controlled from up to 500m away from a remote control, greatly reducing the risk to the operators.

ANTI-CORROSION FEATURES	
Includes:	Hull below deck painted with marine-grade epoxy. Hull above deck painted with polyurethane epoxy and remaining components coated with heavy-duty powder coating all suitable for salt-water service.

EQUIPMENT	BASIC	STANDARD	FULL OPTIONAL	HIGH DEPTH
Winches for moving	X	X	X	X
Night time operating lights	X	X	X	X
Electric Hoist	X	X	X	X
Control Panel	X	X	X	X
Temperature Sensor		X	X	X
Pond Bottom Liner Protection		X	X	X
Jet-Ring System		X	X	X
Digital Depth Gauge		X	X	X
Power Consumption gauge		X	X	X
Moisture Sensor			X	X
Dredge GPS System			X	X
Helix Propeller			X	X
Maintenance Cabin			X	
Pressure Compensator				X

ANTI-CORROSION PACKAGE AVAILABLE ON REQUEST (PH 2 – 12)

The setups in the table above are referential. The final setup for the dredges is determined upon studying the client's needs.

Figura 71. Características de la draga flotante modelo DRP60. Fuente: http://www.dragflow.it/en/application.asp?prod=Remote+Controlled+Cable+Dredgers_55&Cat=10

Bote inflable Aquamarina BT-88892 con motor eléctrico.

Model	BT-88890	BT-88891	BT-88892
Size	300 x 134cm (9.8' x 4'6")	300 x 134cm (9.8' x 4'6")	300 x 134cm (9.8' x 4'6")
Max. Passenger	4	3+1	3+1
Air Chambers	2+1	2+1	2+1
Air Pressure	0.12 Bar Hull	0.12 Bar Hull	0.12 Bar Hull
Max. Payload	880 Lbs / 400 Kg	836 Lbs / 380 Kg	836 Lbs / 380 Kg
Max. Payload (with wood floor)	946 Lbs / 430 Kg	902 Lbs / 410 Kg	902 Lbs / 410 Kg
Net Weight	41.7 Lbs / 18.9 Kg	37.5 Lbs / 17 Kg	44.1 Lbs / 20 Kg
Max. Motor Power	3 KW / 4 HP	500 W	500 W
Motor	No motor with mount kit for gas engine	No motor with mount kit for gas engine	T-18 Electric Motor

Figura 72. Características principales del bote inflable para toma de muestras Aquamarina BT-88892. Fuente: <https://aquabumps.mercadoshops.com.ar/deportes/canoas-kayaks-e-inflables/>

11.3 Balances económicos

Tabla LV. Inversión inicial del proyecto.

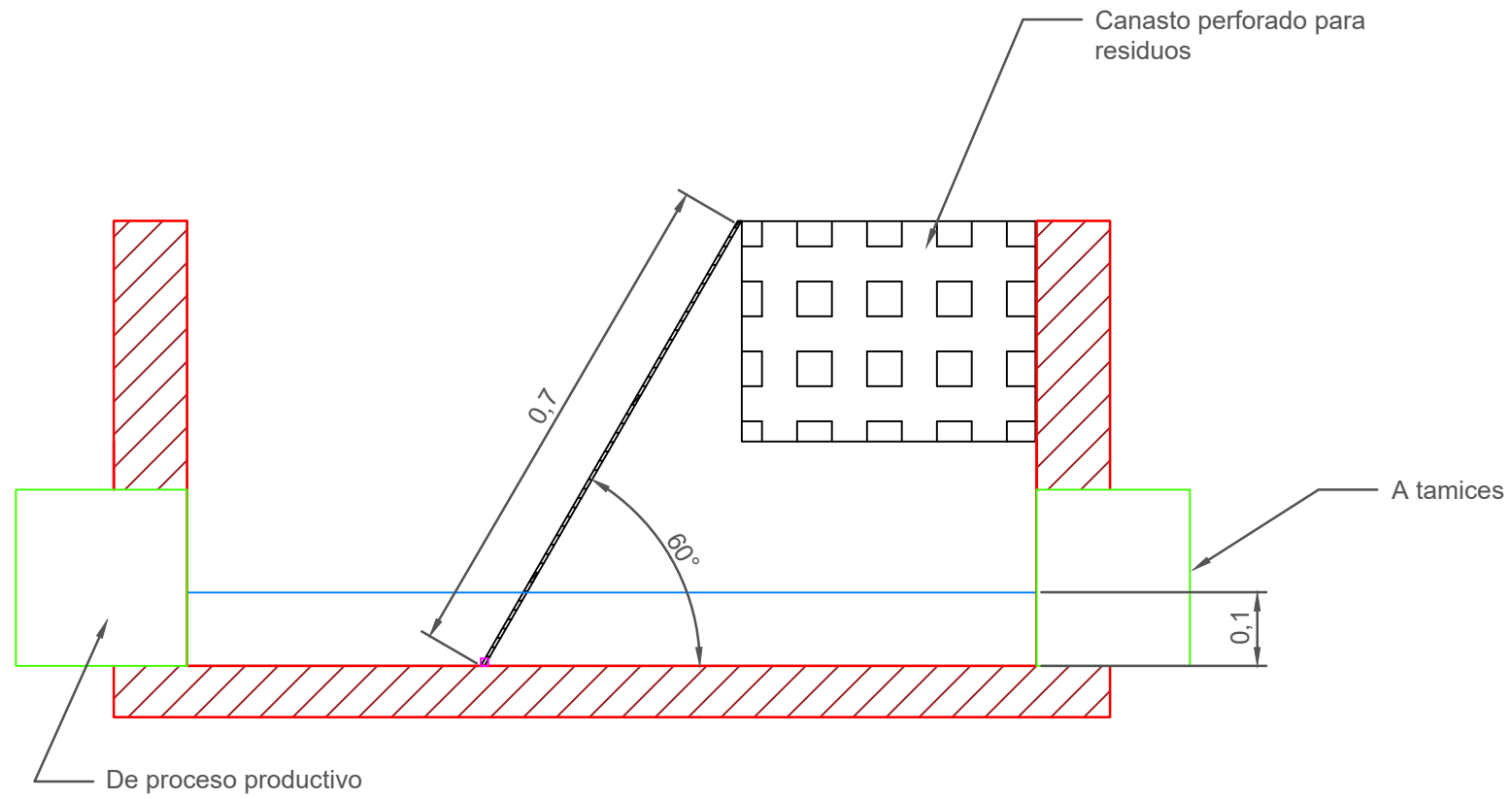
Etapa	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio USD	
				Unitario	Parcial
Preparación del terreno					\$ 138.745,65
	Desmalezado	m2	60000	\$ 0,32	\$ 19.391,30
	Nivelación del terreno	m2	60000	\$ 1,86	\$ 111.304,35
	Alquiler obrador (x mes)	un	3	\$ 152,17	\$ 456,52
	Alambrado perimetral	m	1400	\$ 5,00	\$ 7.000,00
	Forestación perimetral	un	25	\$ 23,74	\$ 593,48
Pretratamiento					\$ 135.421,99
	Difusores de aire CB-300 REPICKY	un	120	\$ 3,00	\$ 360,00
	Rejas de limpieza automática KMS-300L Tsurumi	un	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
	Tamicos rotativos TR 63/120 Defender	un	2	\$ 30.000,00	\$ 60.000,00
	Bomba modelo 250BK430 Tsurumi Pumps,	un	2	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
	Soplador de aire R 2.0 REPICKY	un	2	\$ 2.575,00	\$ 5.150,00
	Caudalímetro FM-080AI	un	5	\$ 405,00	\$ 2.025,00
	Compuerta metálica	un	5	\$ 21,03	\$ 105,14
	Válvula de compuerta 10"	un	10	\$ 28,00	\$ 280,00
	Codo 90° 10"	un	15	\$ 25,00	\$ 375,00
	Derivación de 10"	un	4	\$ 22,00	\$ 88,00
	T de 10"	un	8	\$ 23,00	\$ 184,00
	Válvula anti-retorno	un	6	\$ 33,25	\$ 199,48
	Tubería CPVC 10"	m	500	\$ 5,79	\$ 2.895,00
	Tubería CPVC 6"	m	10	\$ 5,00	\$ 50,00
	Rejas de 5 mm	un	10	\$ 6,00	\$ 60,00
	Rastrillo para recolección de residuos	un	1	\$ 28,99	\$ 28,99
	Canasto para residuos	un	1	\$ 144,93	\$ 144,93
	Plataforma de secado de residuos	m2	4	\$ 200,00	\$ 800,00
	Compuertas de accionamiento manual	un	4	\$ 2.800,00	\$ 11.200,00
	Cañería conducción de aire AINOX	m	50	\$ 63,65	\$ 3.182,61
	Hormigón para canales	m3	2	\$ 42,49	\$ 84,99
	Hormigón armado	m3	268	\$ 29,32	\$ 7.857,76
	Excavación canales de forma mecánica	m3	1,2	\$ 5,00	\$ 6,00
	Excavación para tanque equalizador	m3	134	\$ 1,71	\$ 229,16
	Caseta para sopladores	m2	4	\$ 28,99	\$ 115,94
Tratamiento primario					\$ 30.005,25
	Movimiento de tierras	m3	200	\$ 8,00	\$ 1.600,00
	Puente barredor INGECOL SRL	un	1	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
	Carpintería zona de entrada de acero inoxidable	m2	10	\$ 45,65	\$ 456,52
	Carpintería zona de salida de acero inoxidable	m2	50	\$ 31,50	\$ 1.575,00
	Tubería CPVC 10"	m	12	\$ 5,79	\$ 69,48
	Tubería PVC 3/4"	m	90	\$ 3,00	\$ 270,00
	Válvula de compuerta 10"	un	3	\$ 28,00	\$ 84,00
	Codo 90° 10"	un	4	\$ 25,00	\$ 100,00
	Derivación de 10"	un	4	\$ 22,00	\$ 88,00
	Caudalímetro FM-080AI	un	5	\$ 405	\$ 2.025,00
	Hormigón estructura perimetral y central	m3	150	\$ 37,68	\$ 5.652,17
	Excavación de zanjas para cañerías	m3	10	\$ 8,51	\$ 85,07
Tratamiento secundario					\$ 444.444,85
	Excavación de zanjas	m3	5000	\$ 5,00	\$ 25.000,00
	Excavación de lagunas	m3	87056	\$ 1,72	\$ 149.647,95
	Armado de taludes (internos y externos)	m3	25445	\$ 2,99	\$ 76.112,35
	Arcilla (E=20 cm)	m3	8402	\$ 2,00	\$ 16.803,85
	Arena (E=15cm)	m3	6301	\$ 3,00	\$ 18.904,33
	Geomembrana HDPE 1,5 mm	m2	4000	\$ 3,40	\$ 13.600,00
	Compactación de lechos	m2	42010	\$ 0,79	\$ 33.161,13
	Compuerta	un	40	\$ 21,03	\$ 841,16
	Codo 90° 10"	un	35	\$ 25,00	\$ 875,00
	Tubería PVC 8"	m	200	\$ 2,75	\$ 550,00
	Derivación de 10"	un	10	\$ 22,00	\$ 220,00
	T de 10"	un	10	\$ 23,00	\$ 230,00
	Tubería PVC 10"	m	900	\$ 3,00	\$ 2.700,00
	Alquiler de bomba de achique (x día)	un	60	\$ 569,57	\$ 34.173,91
	Hormigón para canales y bordes libres	m3	600	\$ 29,32	\$ 17.592,00
	Compuerta de fondo	un	15	\$ 2.800,00	\$ 42.000,00
	Canaleta Parshall prefabricada	un	10	\$ 275,00	\$ 2.750,00
	Cámara de equipartición(hormigón)	un	4	\$ 59,00	\$ 236,00
	Vertedero triangulare (acero)	un	10	\$ 205,00	\$ 2.050,00
Hormigón para mamparas, laguna de maduración	m3	239	\$ 29,32	\$ 6.997,18	

Etapa	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio USD	
				Unitario	Parcial
Tratamiento terciario					\$ 61.712,37
	Estructura techada	un	1	\$ 40,77	\$ 40,77
	Cañerías PVC 8"	m	20	\$ 2,50	\$ 50,00
	Válvula de compuerta 10"	un	15	\$ 28,00	\$ 420,00
	Derivación de 8"	un	11	\$ 15,00	\$ 165,00
	Tubería PVC 8"	m	3500	\$ 2,75	\$ 9.625,00
	Bomba Tsurumi modelo 100C222	un	2	\$ 800,00	\$ 1.600,00
	Filtros de carbón activado DEC/M-1600, IMA Water	un	4	\$ 10.000,00	\$ 40.000,00
Valvulas esclusa	un	5	\$ 22,32	\$ 111,60	
Equipo SOLVOCARB-D, LINDE	un	1	\$ 9.700,00	\$ 9.700,00	
Tratamiento de lodos					\$ 121.552,58
	Tolva para sólidos (rejas y tamiz)	un	1	\$ 180,00	\$ 180,00
	Excavaciones de zanjas	m3	50	\$ 5,00	\$ 250,00
	Hormigón de recubrimiento	m3	20	\$ 29,30	\$ 586,00
	Cañerías PVC 4"	m	200	\$ 2,50	\$ 500,00
	Cañerías PVC 6"	m	163	\$ 2,75	\$ 448,25
	Codo 90° 6"	un	4	\$ 15,00	\$ 60,00
	Bomba Tsurumi modelo 50UT2.4S	un	2	\$ 330,00	\$ 660,00
	Excavaciones de lechos	m3	3750	\$ 1,82	\$ 6.825,00
	Arena fina (1 mm)	tn	1500	\$ 3,00	\$ 4.500,00
	Grava gruesa (20 mm)	tn	2000	\$ 18,00	\$ 36.000,00
	Grava fina (10 mm)	tn	2000	\$ 23,00	\$ 46.000,00
	Draga DRP60, DRAGFLOW	un	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
Carretilla	un	5	\$ 43,48	\$ 217,39	
Palas	un	10	\$ 32,59	\$ 325,94	
Honorarios					\$ 366.472,86
	Trabajos previos y presentación de propuestas	un	1	\$ 1.064	\$ 1.064,23
	Mano de obra	un	39	\$ 6.167	\$ 240.504,15
	Proyecto y dirección técnica	un	1	\$ 120.302	\$ 120.302,00
	HyS en el trabajo para obras en construcción	un	1	\$ 2.624,22	\$ 2.624,22
Informe técnico en EIA	un	1	\$ 1.978,26	\$ 1.978,26	
Elementos para O&M					\$ 41.375,16
	Bote neumático desarmable Aquamarina BT-88892	un	1	\$ 478,26	\$ 478,26
	Guantes	un	10	\$ 0,50	\$ 4,95
	Botas altas	un	10	\$ 6,00	\$ 60,00
	Casco protector	un	4	\$ 3,41	\$ 13,62
	Capas de goma	un	5	\$ 8,70	\$ 43,48
	Mascara con filtro protector carbon gases polvo	un	2	\$ 15,94	\$ 31,88
	Ropa de trabajo (pantalón y camisa)	un	2	\$ 25,94	\$ 51,88
	Detector De Gases Altair Pro	un	1	\$ 1.739,13	\$ 1.739,13
	Matafuegos Hcfc 123 Abc De 5 Kg	un	1	\$ 241,16	\$ 241,16
	Cabo flotante de 12 mm	m	50	\$ 2,29	\$ 114,49
	Botiquín de primeros auxilios	un	2	\$ 11,59	\$ 23,19
	Arnes seguridad con línea de vida	un	2	\$ 49,90	\$ 99,80
	Salvavidas	un	4	\$ 8,70	\$ 34,78
	Pico	un	2	\$ 21,74	\$ 43,48
	Desmalezadora Luqstoff	un	1	\$ 86,96	\$ 86,96
	Tractor cortador de pasto Huskee	un	1	\$ 3.898,55	\$ 3.898,55
	Martillo	un	2	\$ 6,00	\$ 12,00
	SERRUCHO	un	1	\$ 6,50	\$ 6,50
	Escoba	un	2	\$ 4,25	\$ 8,50
	Rastrillo para mat. flotante (3m. de largo)	un	2	\$ 23,19	\$ 46,38
	Machete	un	2	\$ 11,59	\$ 23,19
	Destornillador (X 6)	lote	1	\$ 4,35	\$ 4,35
	Balde	un	2	\$ 1,74	\$ 3,48
	Llave Stilson de 12"	un	1	\$ 7,25	\$ 7,25
	Microscopio OMAX 40X-2500X	un	1	\$ 1.919,00	\$ 1.919,00
	Sonda multiparamétrica Horiba	un	1	\$ 4.307	\$ 4.307
	Espectrofotómetro Visible modelo 721 ANENG	un	1	\$ 314	\$ 314
	Termorreactor ECO-16 VELP	un	1	\$ 1.666,99	\$ 1.667
	Caseta de operación	m2	25	\$ 35,35	\$ 883,87
Medio mundo plegable	un	1	\$ 6,77	\$ 6,77	
Tanque almacenamiento corriente blanca	m3	840	\$ 30,00	\$ 25.200,00	
Total					\$ 1.339.731
Total (+ AUI 30%)					\$ 1.741.650

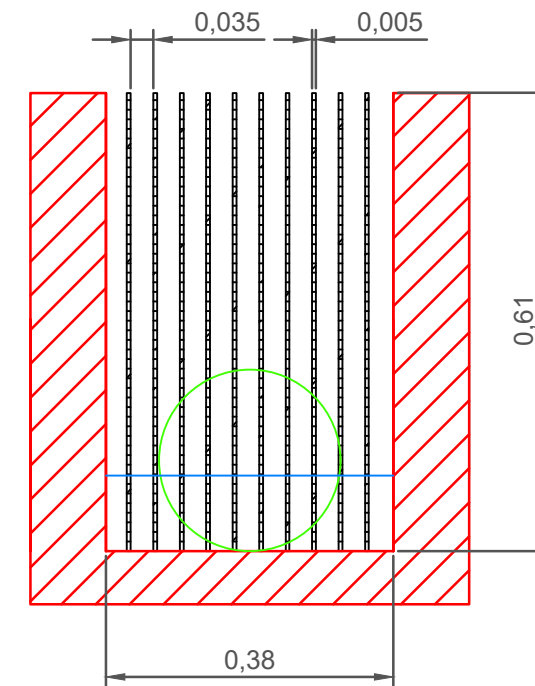
Tabla LVI. Gastos de operación y mantenimiento mensual del proyecto.

Cargos	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio USD	
				Unitario	Parcial
					\$ 62.067,06
Consumo electrico	Capacidad de transporte y pérdidas de carga				
	Demanda de potencia Horario PUNTA	KW	82,20	\$ 2,47	\$ 203,03
	Demanda de potencia Horario FUERA DE PUNTA	KW	82,20	\$ 1,95	\$ 160,29
	CUST	KW	82,20	\$ 722,42	\$ 59.382,92
	Cargo por energía transportada				
	Horario PUNTA	KWh	163924	\$ 0,0013	\$ 212,18
	Horario VALLE	KWh	163924	\$ 0,0012	\$ 194,67
	Horario de HORAS RESTANTES	KWh	163924	\$ 0,0012	\$ 203,46
Compra energía a CAMMESA	MWh	163,92	\$ 10,43	\$ 1.710,52	
					\$ 717,10
Insumos	Carbón activado BG8X16mesh	ton	0,30	\$ 1.200,00	\$ 360,00
	Combustible	l	30,00	\$ 0,89	\$ 26,82
	Pintura epoxi 4 lts	un	1,00	\$ 11,43	\$ 11,43
	Lubricante/aceite	un	1,00	\$ 28,99	\$ 28,99
	Reactivos laboratorio	un	1,00	\$ 289,86	\$ 289,86
					\$ 2.582,24
Sueldos	Operador	un	2,00	\$ 634,12	\$ 1.268,23
	Ingeniero Ambiental	un	1,00	\$ 869,57	\$ 869,57
	Técnico químico	un	1,00	\$ 434,78	\$ 434,78
	Capacitaciones semestrales	un	1,00	\$ 9,66	\$ 9,66
					\$ 37.717,71
Contratos externos	Tratamiento corriente blanca	m3/mes	3720	\$ 10,00	\$ 37.200,00
	Disposición final de residuos desbaste	tn/mes	9,24	\$ 56,00	\$ 517,71
					\$ 17.904,65
Administrativos y mantenimiento	Canon de uso cuerpo receptores	un	1,00	\$ 34,80	\$ 34,80
	Póliza de seguro ambiental	un/año	0,08	\$ 147.550,71	\$ 12.295,89
	Mantenimiento (5% inversión anual)	%	0,08	\$ 66.887,47	\$ 5.573,96
Total					\$ 120.989

11.4 Planos

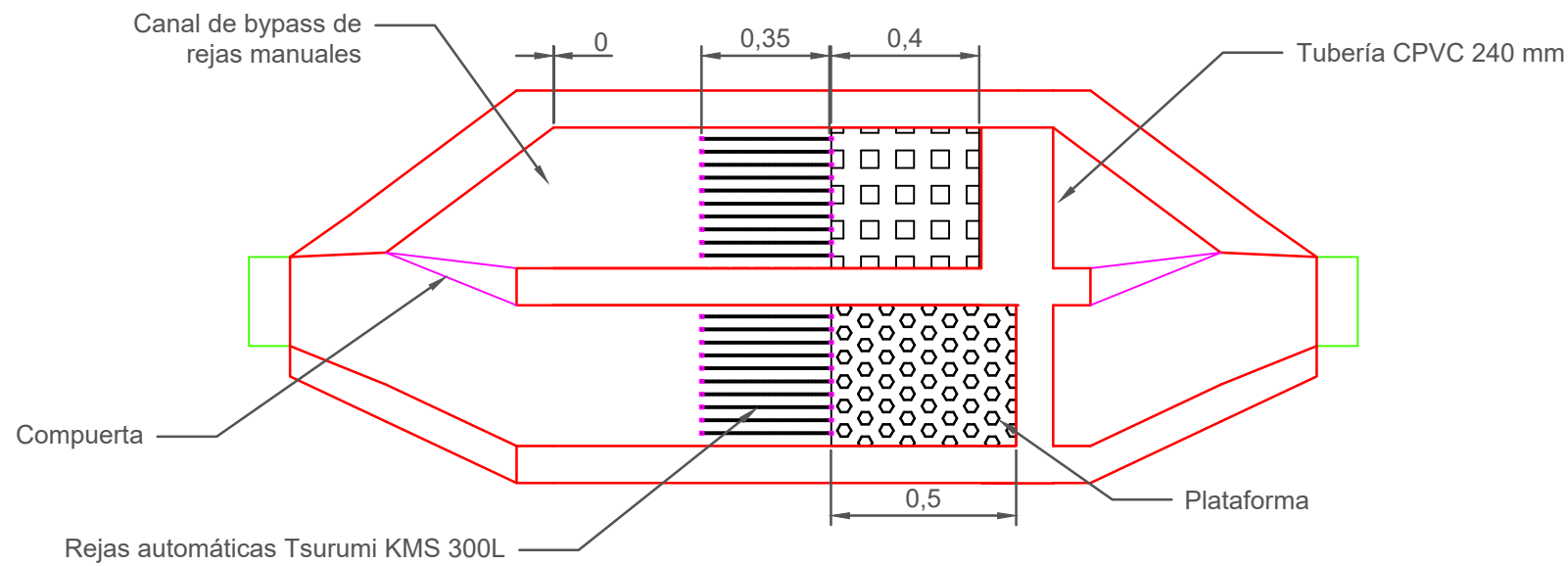


CORTE 1:10




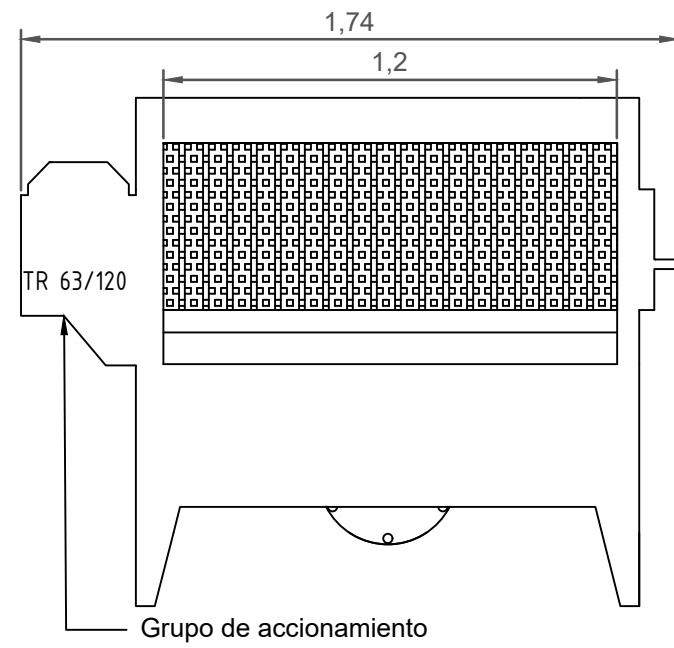
VISTA FRONTAL 1:10

Caudal (m ³ /h)	204,4	75,0	44,0
Velocidad de acercamiento (m/s)	1,4	0,5	0,3

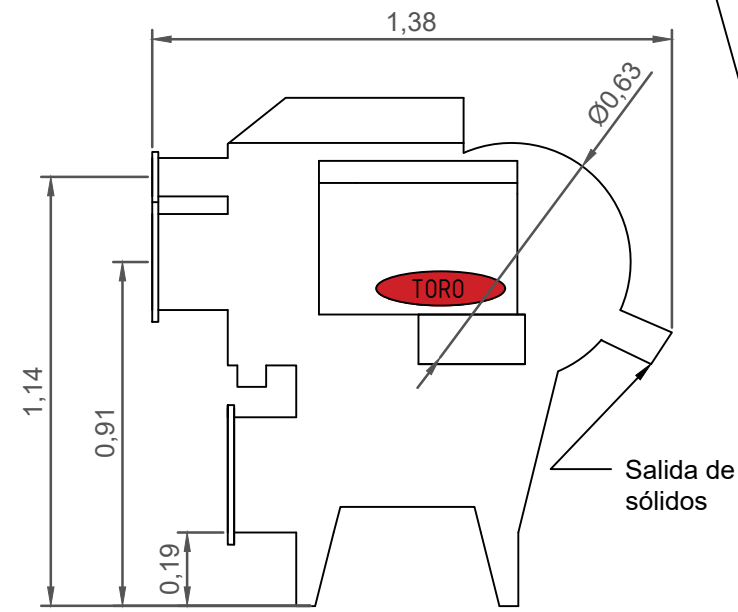


VISTA PLANTA 1:20

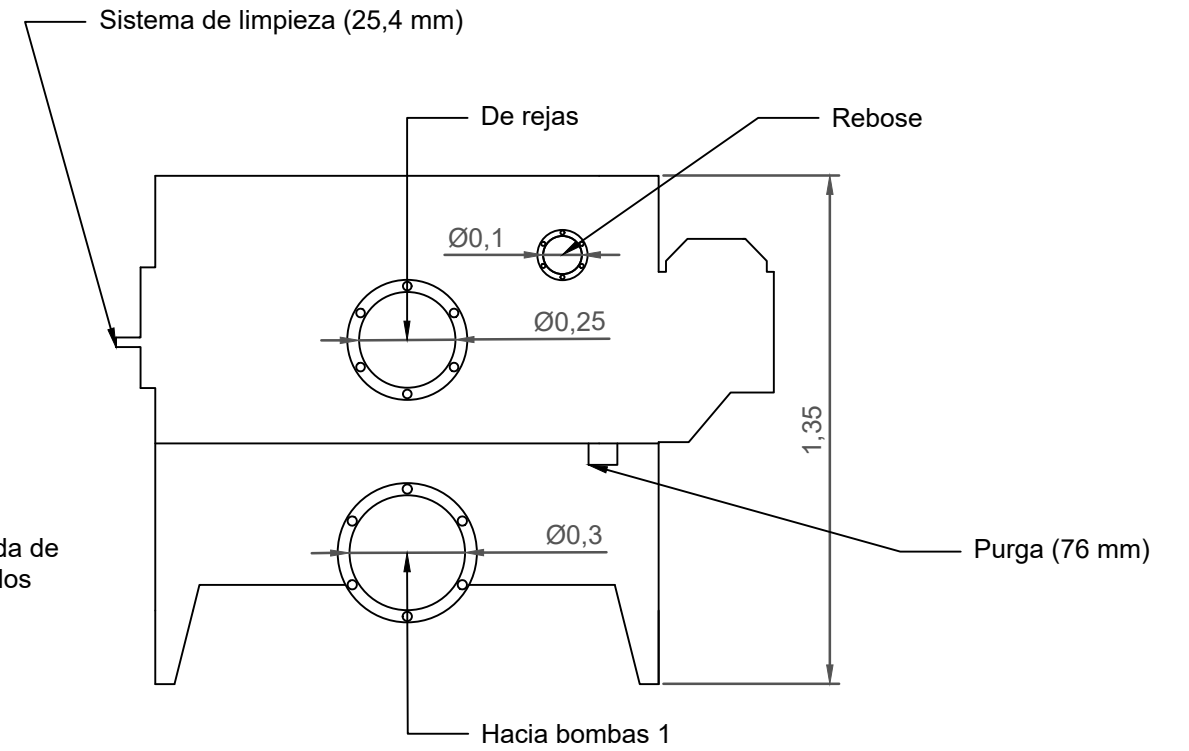
Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	
Revisó:				
Aprobó:			Vistas fundamentales del sistema de rejas	Alumno: Patricio L. Geretto
Escala: ver planos				Carrera: Ingeniería Ambiental
Plano N°: 01				



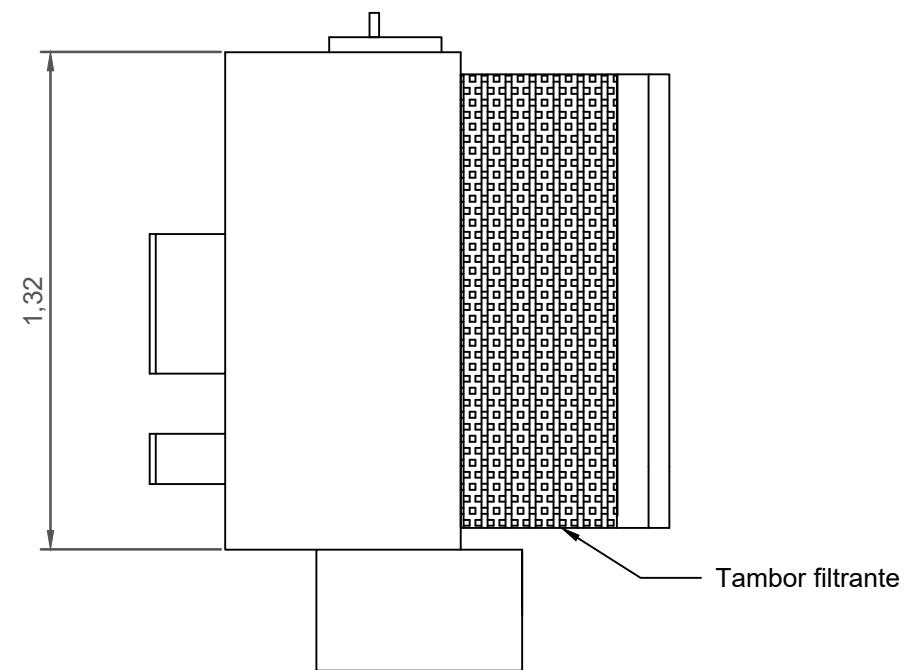
VISTA LATERAL DERECHA




VISTA FRONTAL

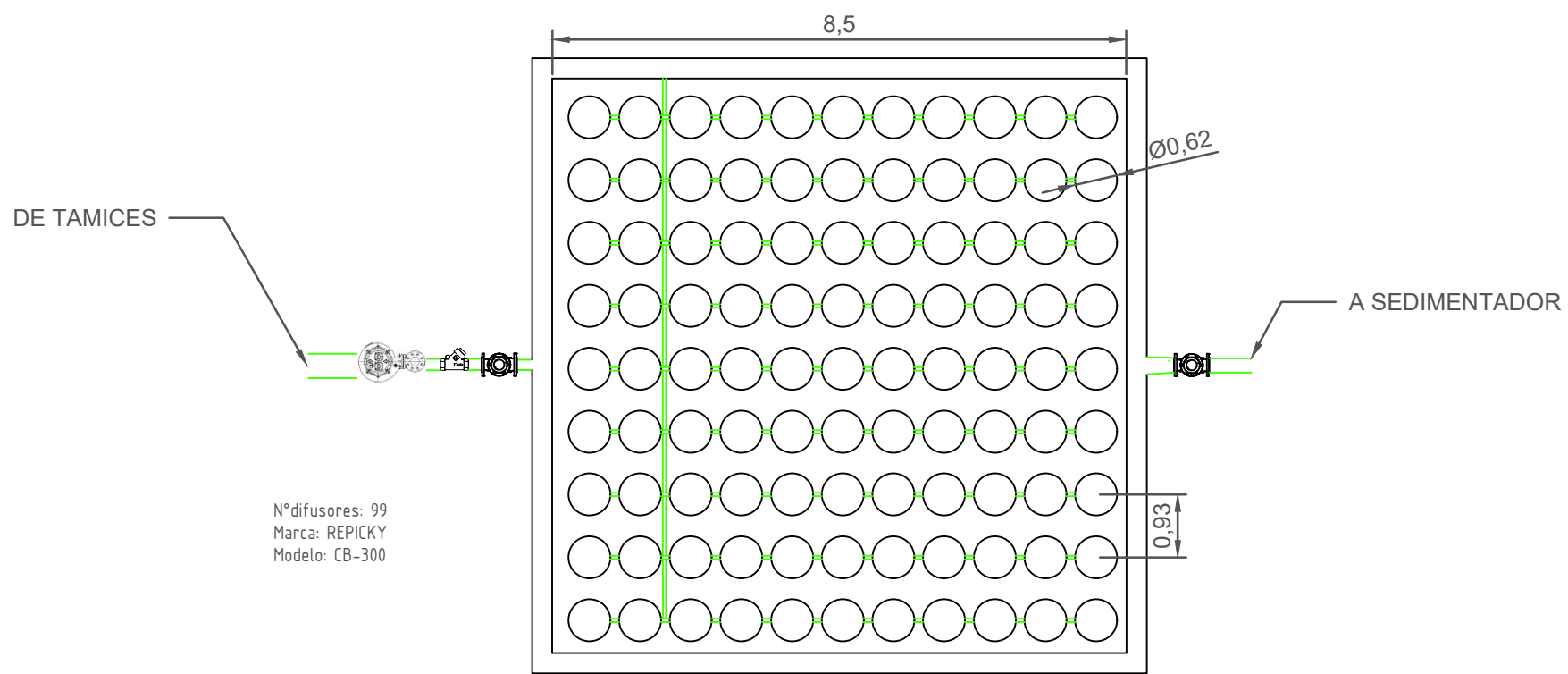
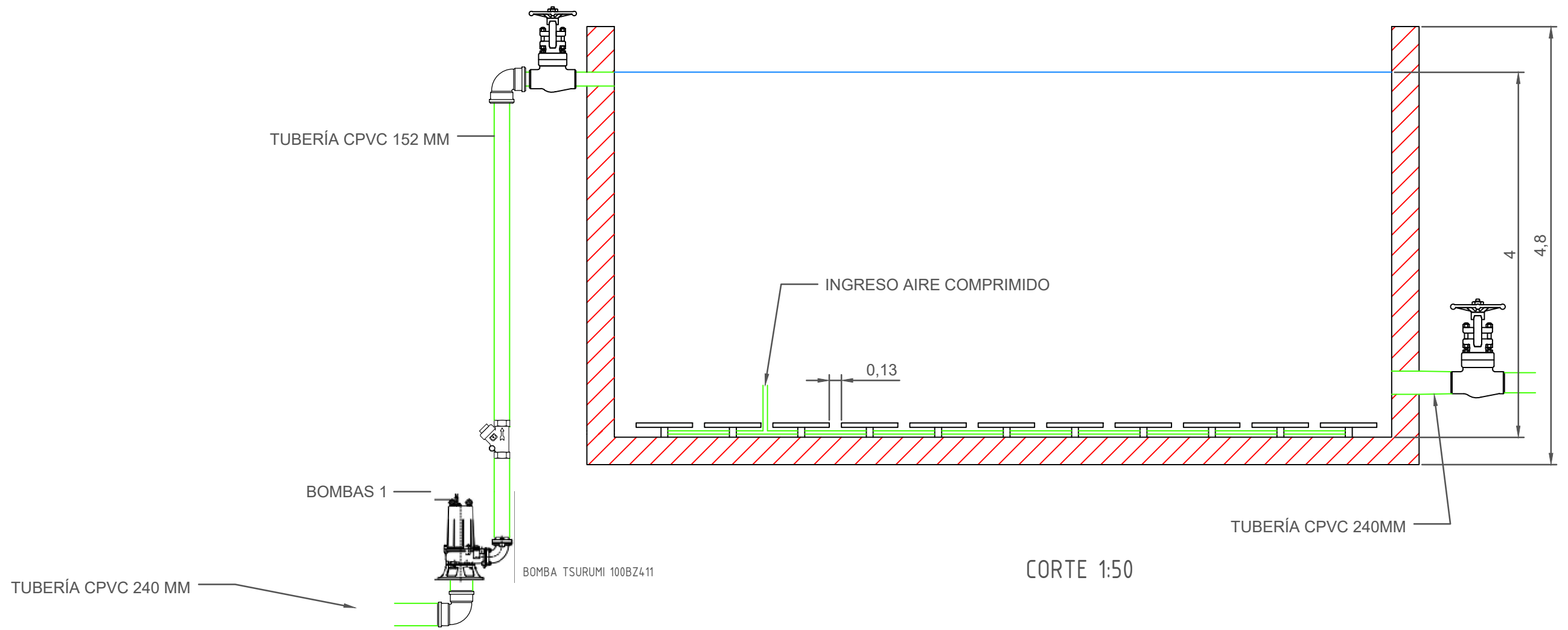


VISTA LATERAL IZQUIERDA




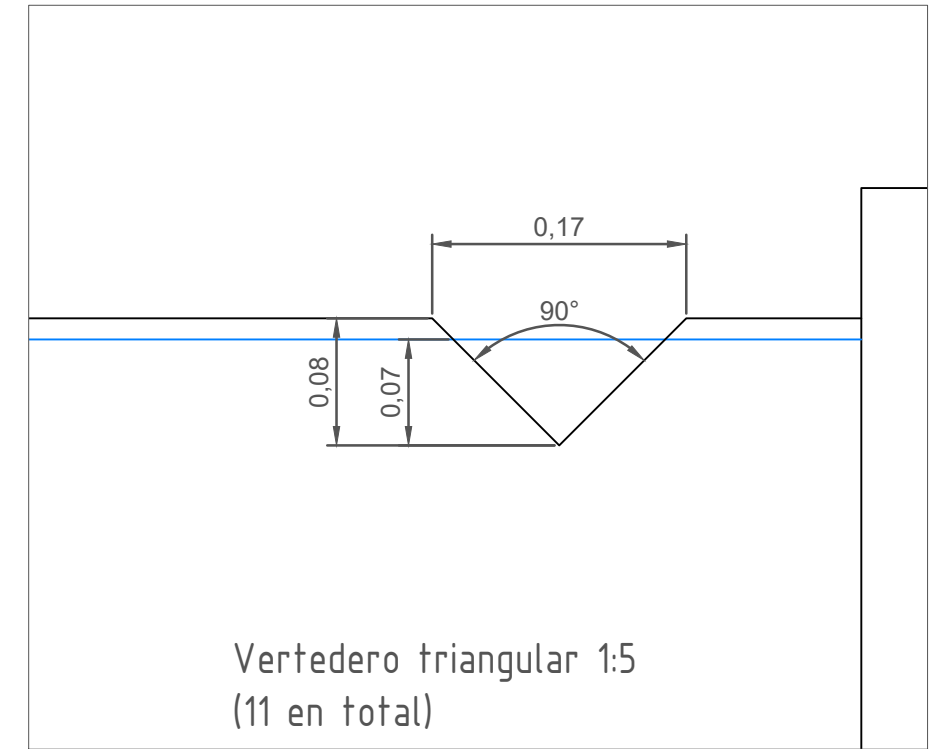
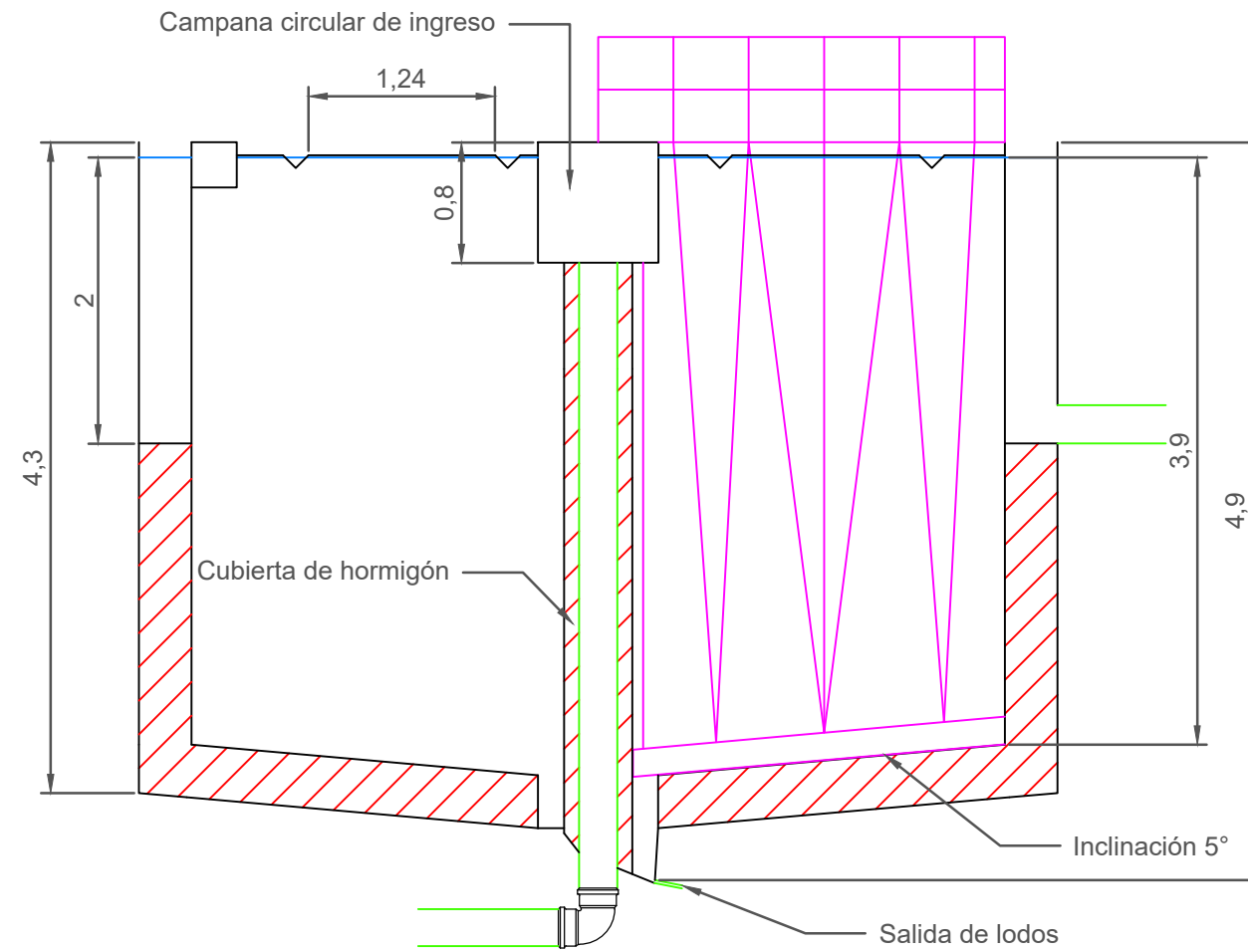
VISTA PLANTA

Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				Alumno: Patricio L. Geretto
Escala: 1:20	Vistas fundamentales del tamiz DEFENDER TR 63/120			Carrera: Ingeniería Ambiental
Plano N°: 02				

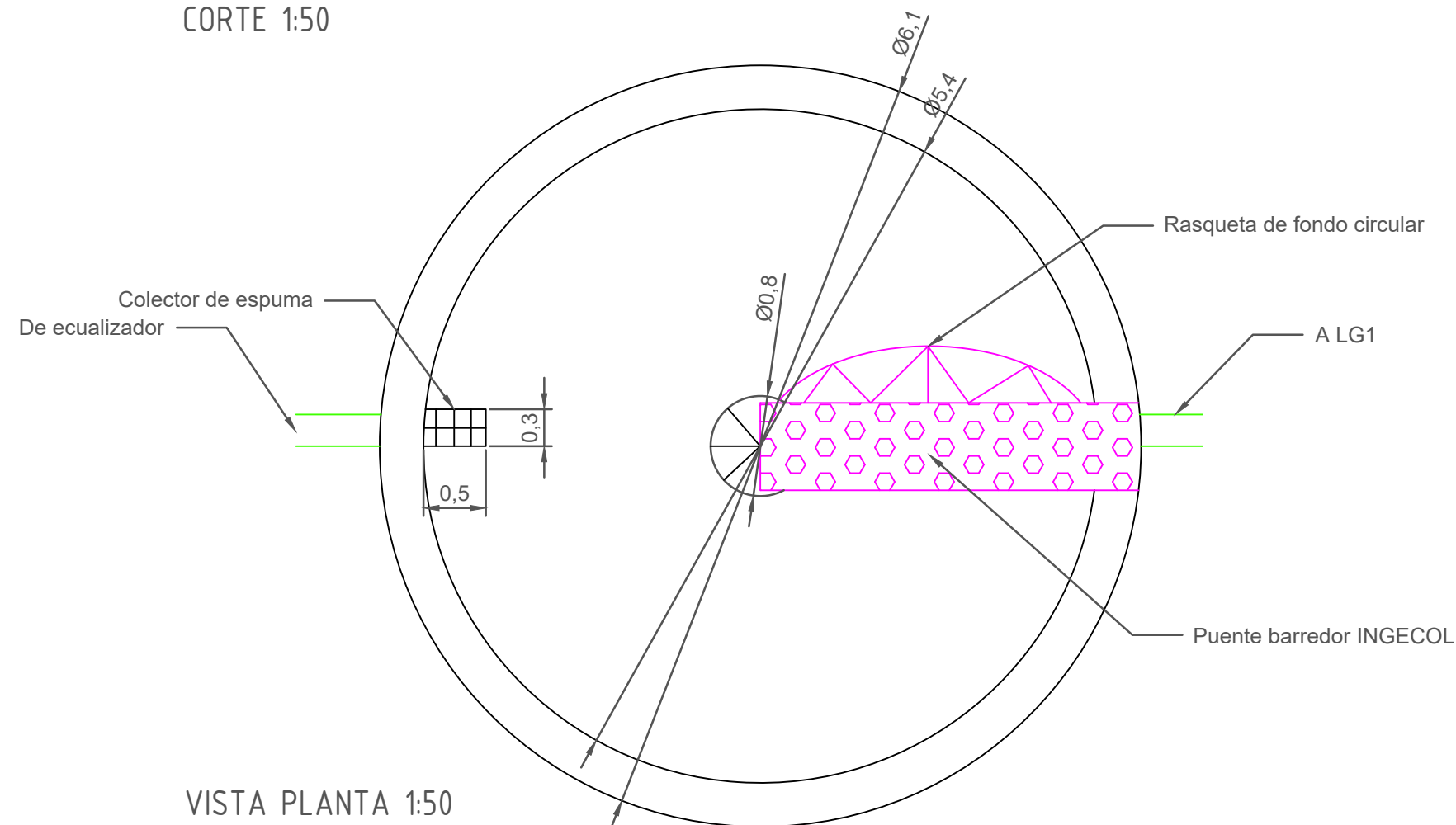


VISTA PLANTA 1:100


Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: Ver planos	Vistas fundamentales del equalizador		Alumno: Patricio L. Geretto	
Plano N°: 03			Carrera: Ingeniería Ambiental	

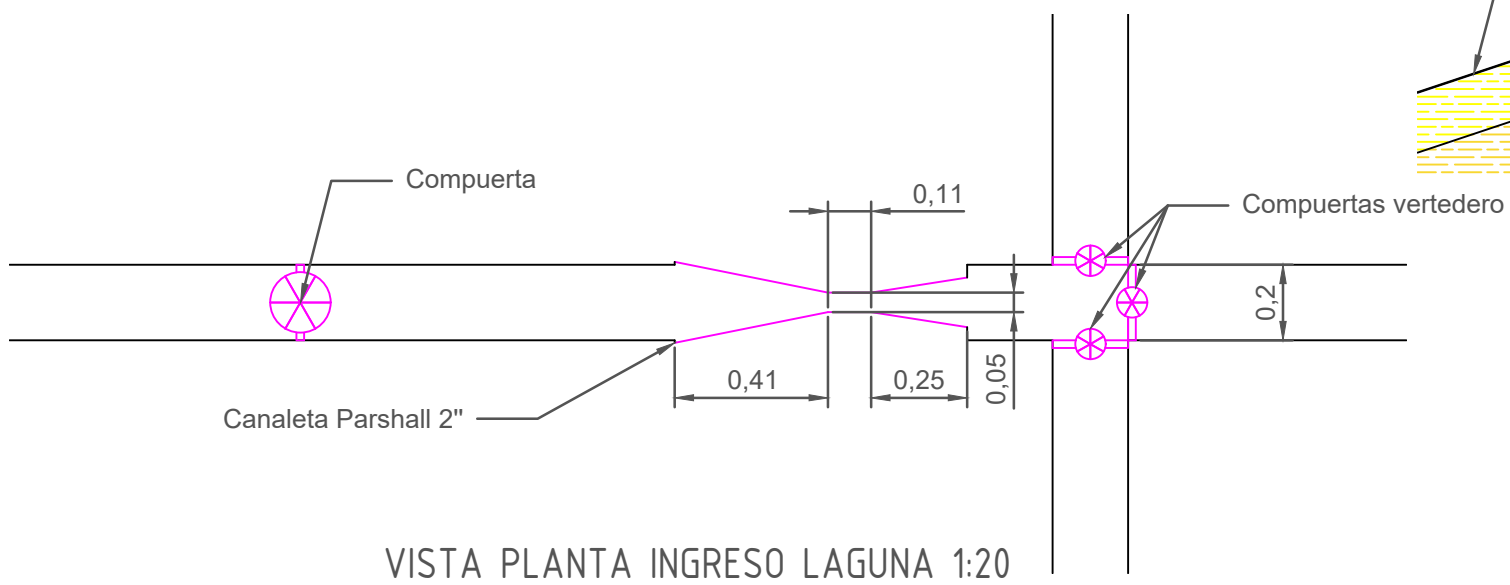
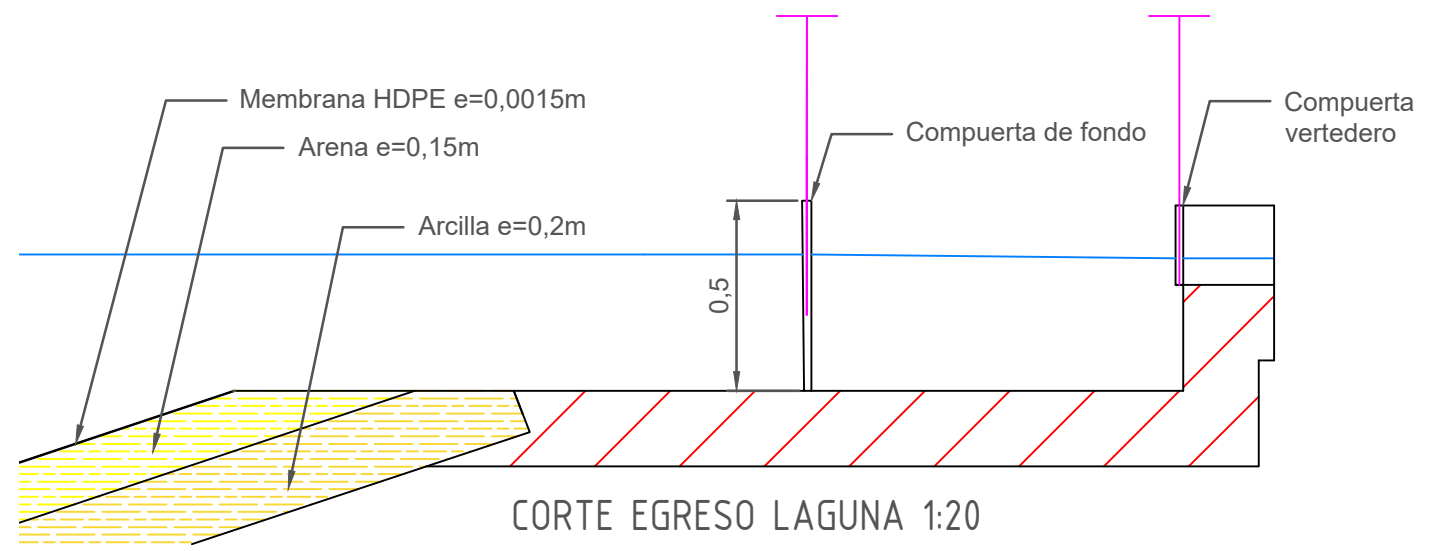
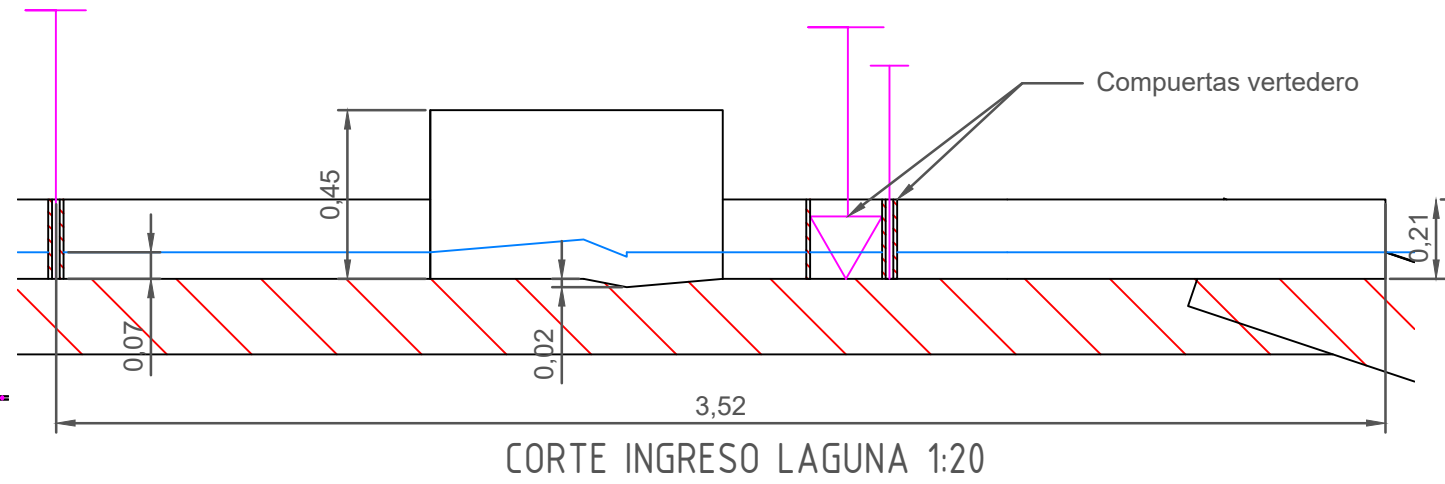
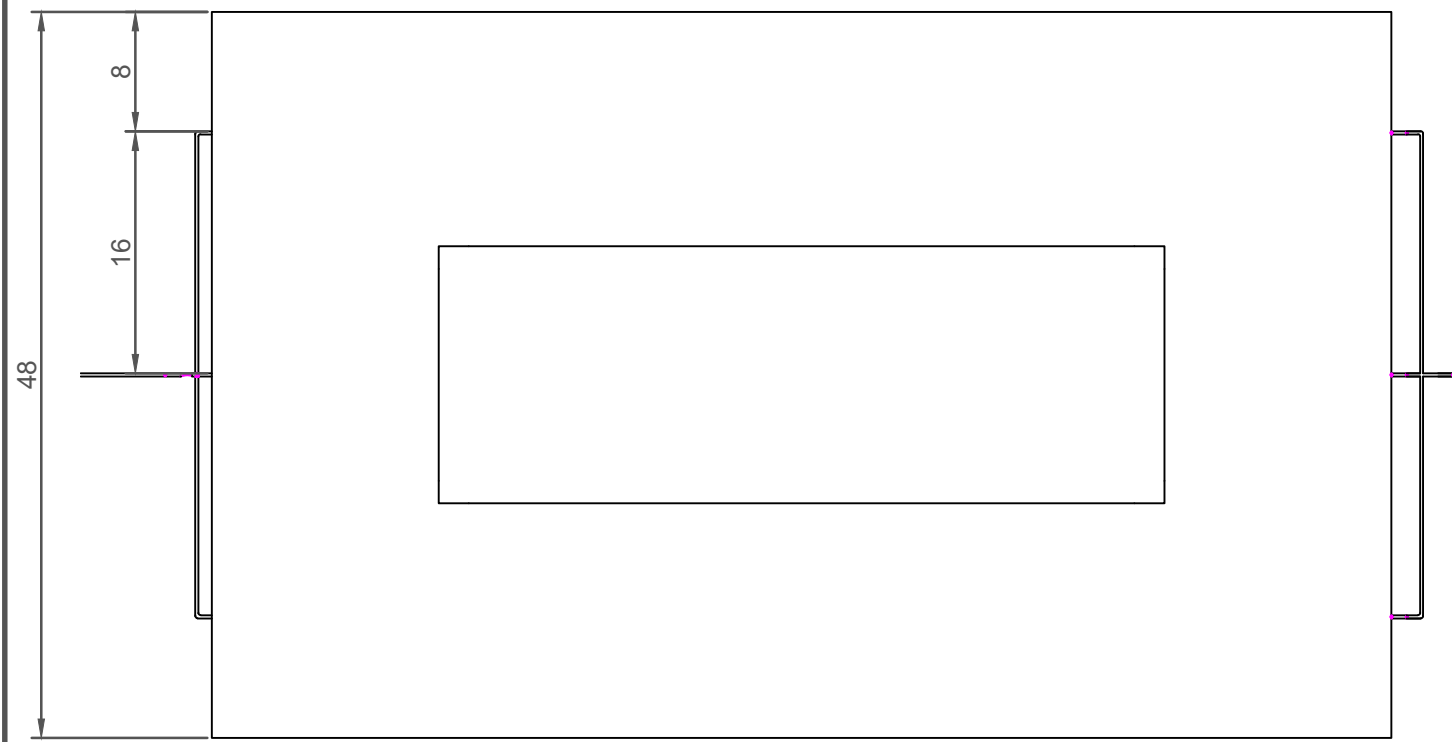
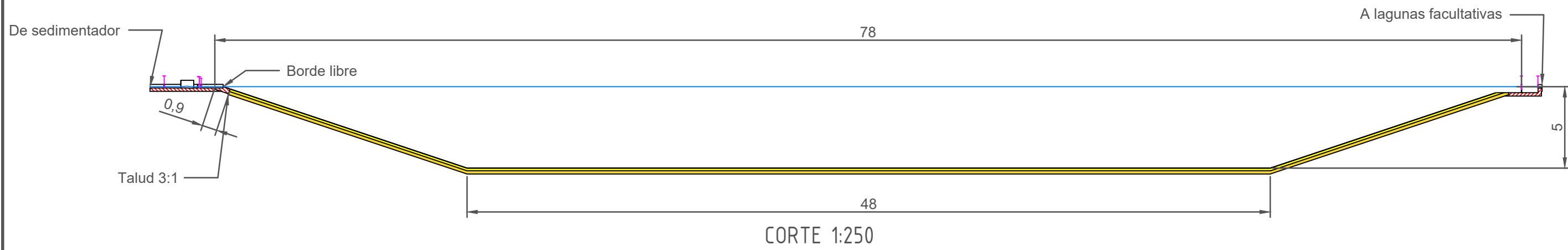



CORTE 1:50

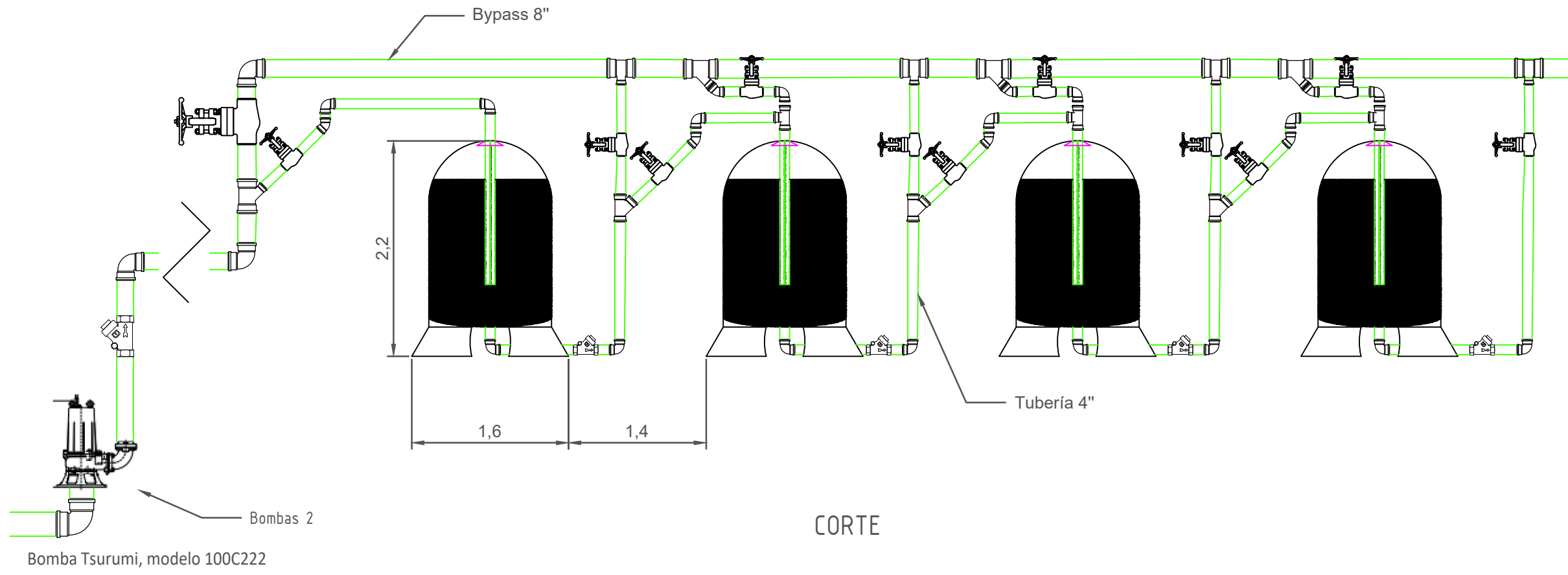


VISTA PLANTA 1:50

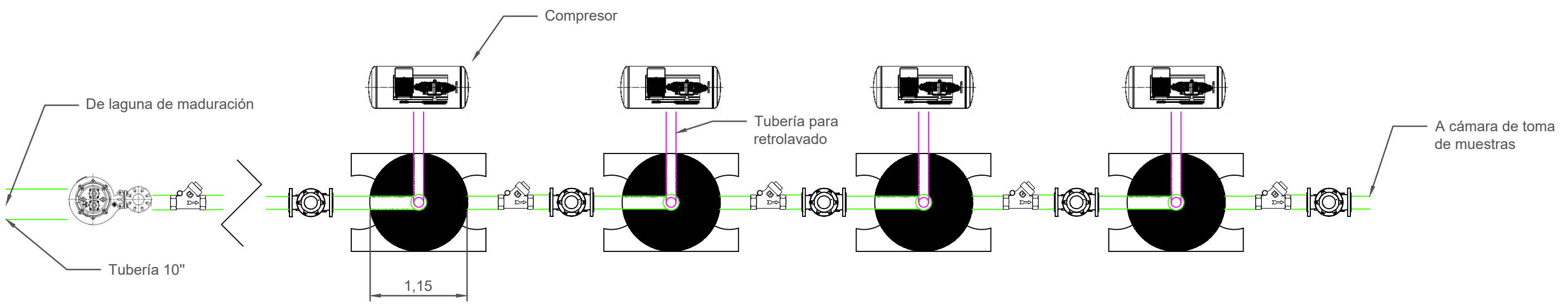
Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: Ver planos	Vistas fundamentales del sedimentador		Alumno: Patricio L. Geretto	
Plano N°: 04			Carrera: Ingeniería Ambiental	



Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:			Vistas fundamentales de la laguna anaeróbica	Alumno: Patricio L. Geretto
Escala: Ver planos				Carrera: Ingeniería Ambiental
Plano N°: 05				




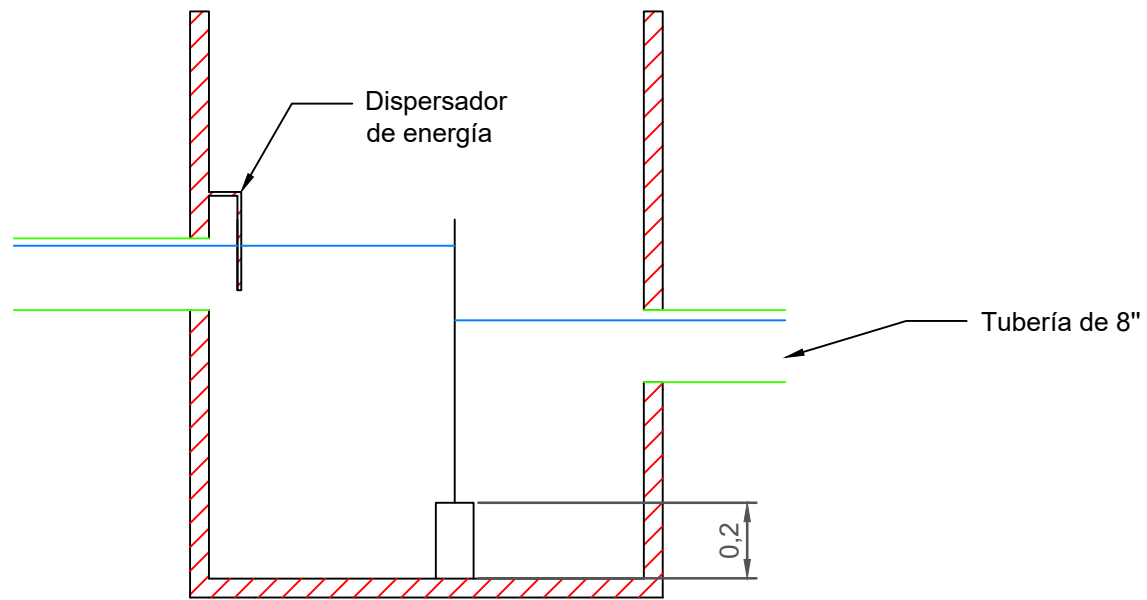
CORTE



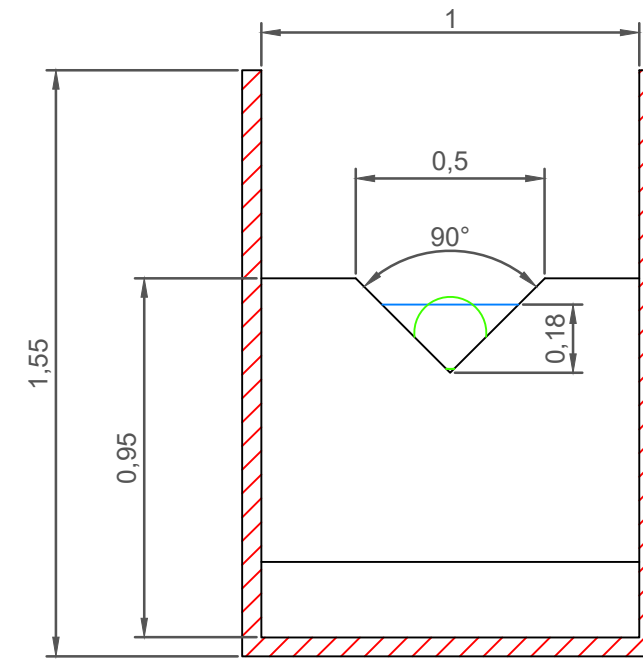
VISTA PLANTA

4 filtros de carbón activado marca IMA WATER DEC/M-1600

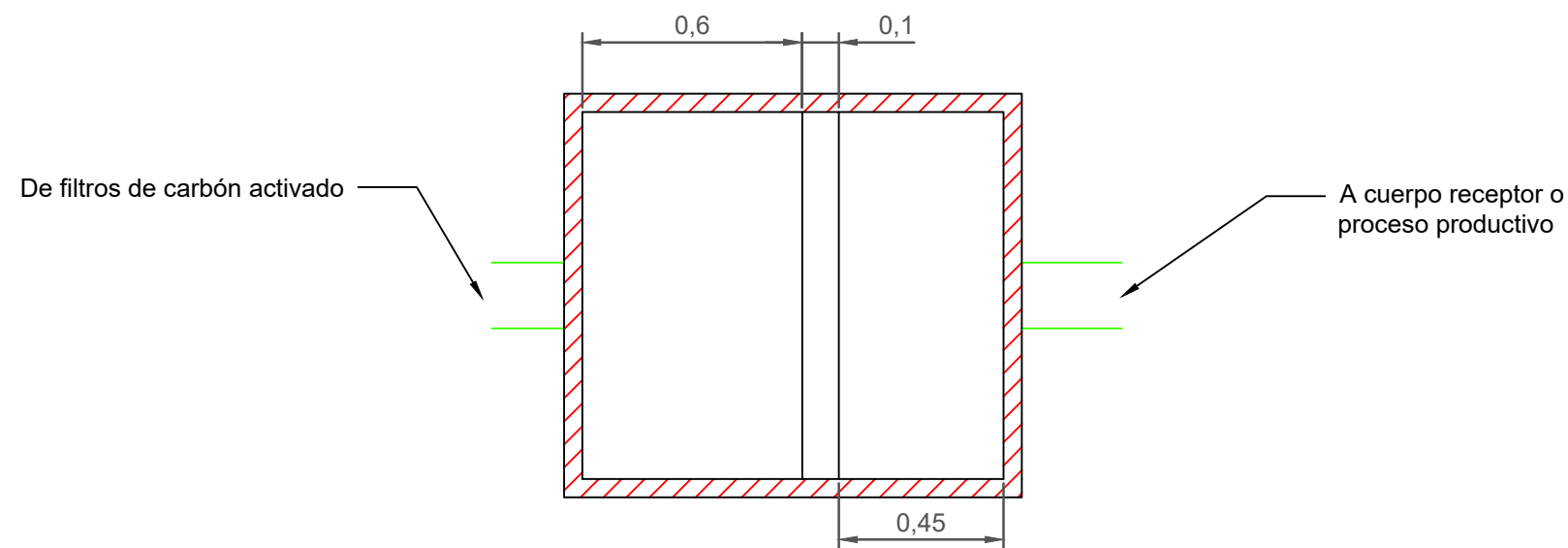
Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: 1:50	Vistas fundamentales de los filtros de carbón activado		Alumno: Patricio L. Geretto	
Plano N°: 06			Carrera: Ingeniería Ambiental	



CORTE




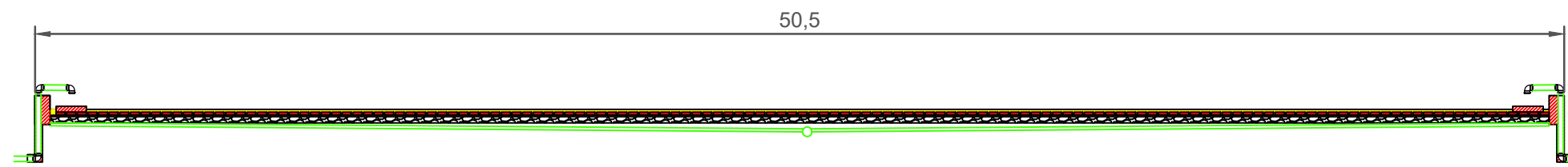
VISTA FRONTAL



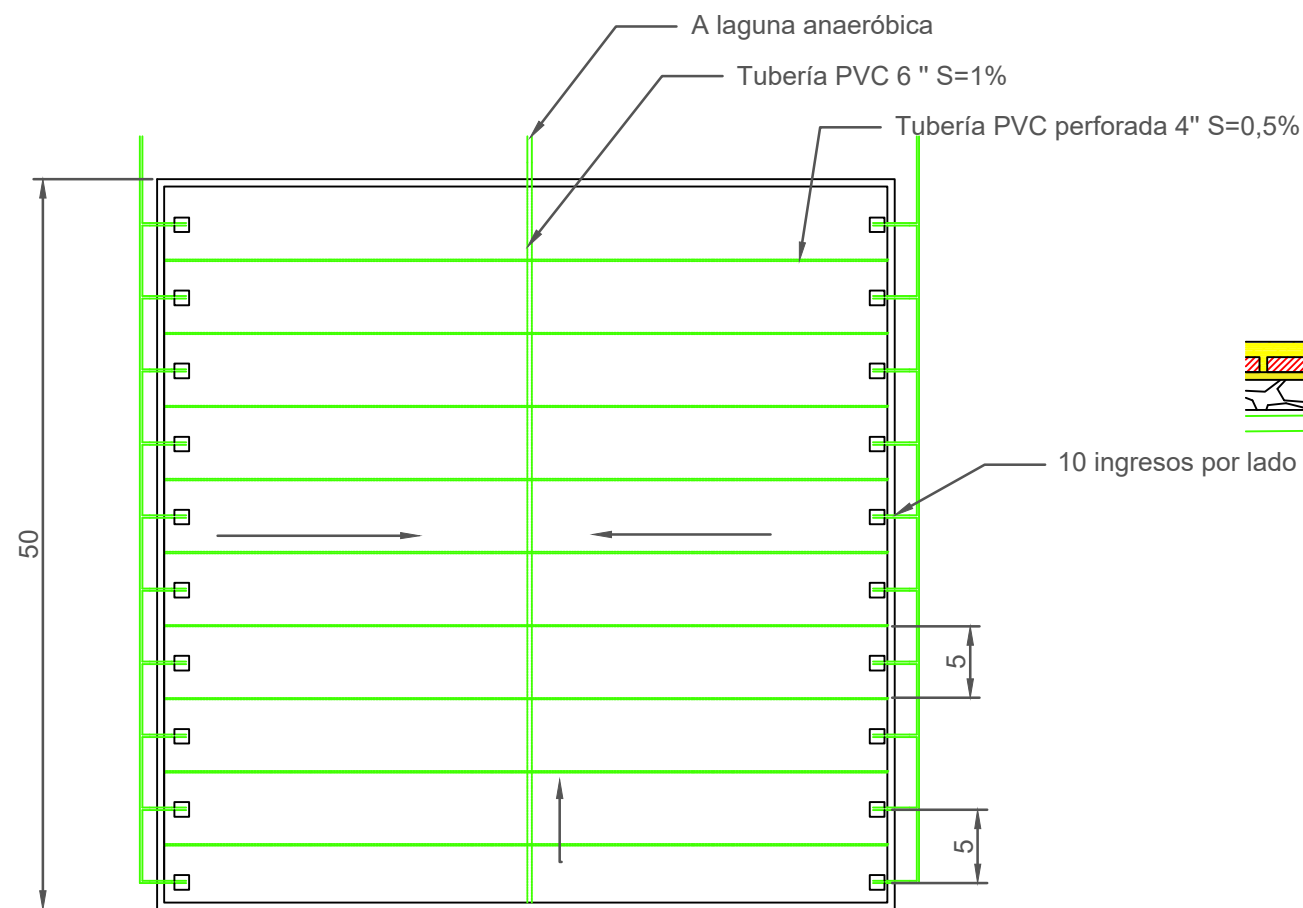
VISTA PLANTA

Altura en vertedero (m)	Caudal (m ³ /h)
0,16	52
0,17	61
0,18	70
0,19	80
0,2	90

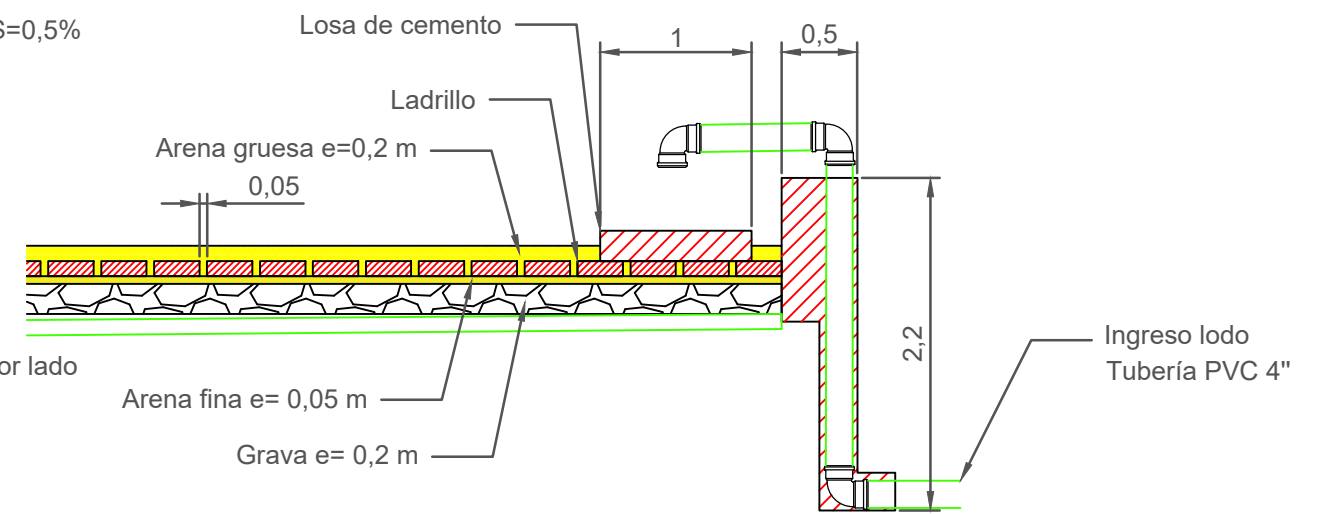
Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: ver planos	Vistas fundamentales de la cámara de aforo y toma de muestras		Alumno: Patricio L. Geretto	
Plano N°: 07			Carrera: Ingeniería Ambiental	




CORTE 1:200

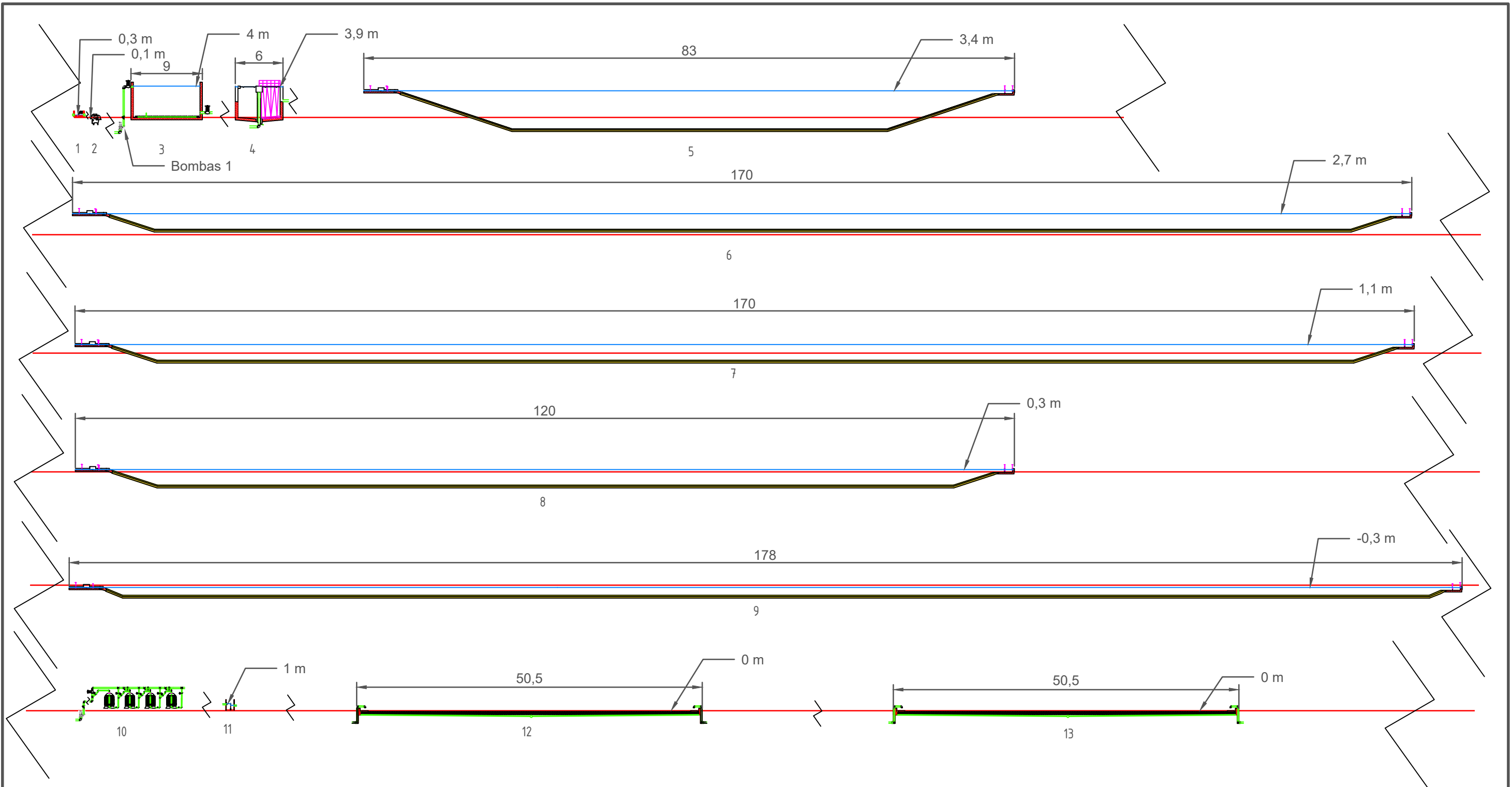


VISTA PLANTA 1:500




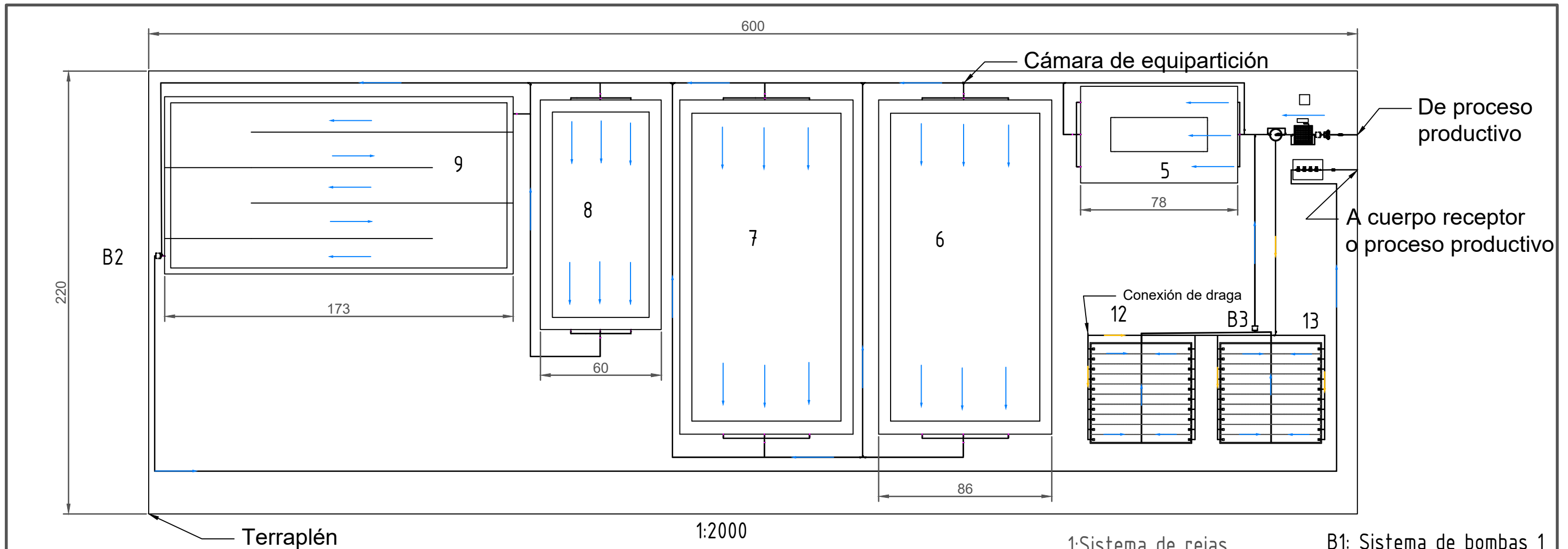
INGRESO LODO 1:50

Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				
Escala: ver planos	Vistas fundamentales del lecho de secado		Alumno: Patricio L. Geretto	
Plano N°: 08			Carrera: Ingeniería Ambiental	



- 1:Sistema de rejas 2:Sistema de tamices 3:Tanque ecualizador 4:Sedimentador 5: Laguna anaeróbica (LG1)
- 6:Laguna facultativa (LG2)
- 7:Laguna facultativa (LG2')
- 8:Laguna facultativa (LG3)
- 9:Laguna de maduración (LG4)
- 10:Filtros de carbón activado 11:Cámara de toma de muestras 12:Lecho activado 1 13: Lecho activado 2

Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				Alumno: Patricio L. Geretto
Escala: 1:500	Vista lateral de la planta de tratamiento en referencia al nivel del terreno			Carrera: Ingeniería Ambiental
Plano N°: 09				

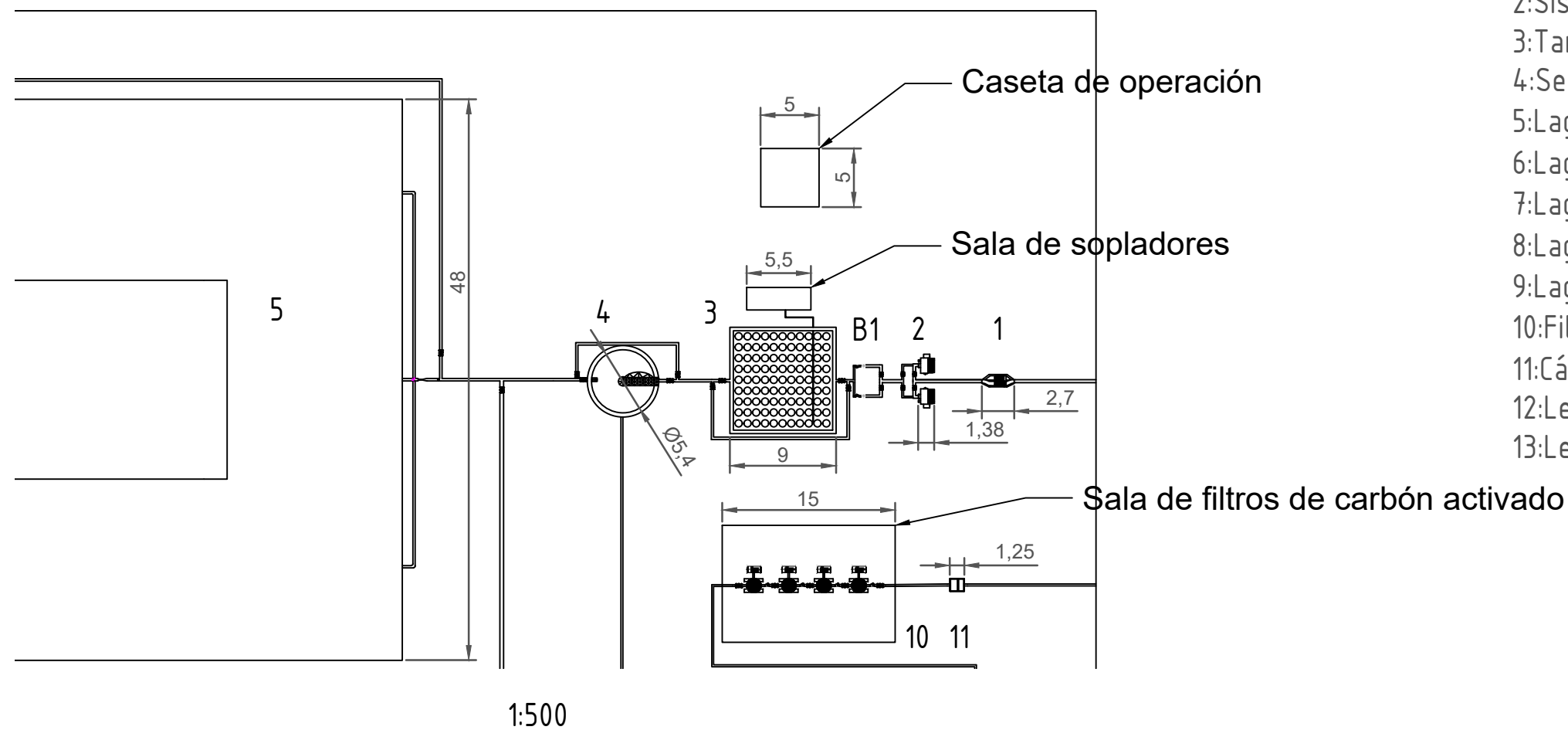


Terraplén


1:2000

- 1: Sistema de rejas
- 2: Sistema de tamices
- 3: Tanque equalizador
- 4: Sedimentador
- 5: Laguna anaeróbica (LG1)
- 6: Laguna facultativa (LG2)
- 7: Laguna facultativa (LG2')
- 8: Laguna facultativa (LG3)
- 9: Laguna de maduración (LG4)
- 10: Filtros de carbón activado
- 11: Cámara de toma de muestras
- 12: Lecho activado 1
- 13: Lecho activado 2

- B1: Sistema de bombas 1
- B2: Sistema de bombas 2
- B3: Sistema de bombas 3



1:500

Dibujó:	Fecha:	Nombre:	Tratamiento de efluentes de planta productora de bioetanol y coproductos	 Universidad Nacional de San Martín
Revisó:				
Aprobó:				Alumno: Patricio L. Geretto
Escala:	Vistas en planta de la planta de tratamiento de efluentes completa			Carrera: Ingeniería Ambiental
Ver planos	Plano N°:			
	10			