DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO DEL PARTIDO DE NECOCHEA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

por

LUCILA MERCEDES SANDRI

Proyecto Final Integrador para obtener el título de grado en

INGENIERÍA AMBIENTAL

Otorgado por la

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

Versión Final

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermano, gracias por su apoyo incondicional en todos los proyectos que me propongo.

A mis abuelos, por su amor eterno.

A Juani, por ser la calma en toda tormenta.

A mis amigos y amigas, por el aliento y la confianza de siempre.

A todos y todas los que forman la Universidad Nacional de San Martín, por hacer de mis años allí un placer y un privilegio.

A todos los especialistas entrevistados, en especial al Ing. Carlos Fontán, por su generosidad y tiempo.

A la familia Aeration Argentina, por abrirme las puertas al fascinante mundo de agua y efluentes.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Diagnóstico y caracterización **9**

1.1. El Territorio **9**
1.1.1. Ubicación 9
1.1.2. Población actual 10
1.1.3. Dinámica poblacional 10
1.1.4. Población turística y dinámica estacional 11
1.1.5. Proyección Poblacional a 20 años 11

1.2. Caracterización de RSU **13**
1.2.1. Generación 13
1.2.2. Composición 15

1.3. Gestión Integral de RSU en Necochea **16**
1.3.1. Recolección 16
1.3.2. Barrido y Limpieza 18
1.3.3. Recuperación y Reciclaje 19
1.3.4. Recolección informal 20
1.3.5. Gestión de residuos no domiciliarios 20
1.3.6. Estaciones de transferencia 21
1.3.7. Disposición final 21

1.4. Identificación de problemáticas **33**
1.4.1. Análisis del problema mediante el árbol de problemas 34
1.4.2. Análisis de objetivos mediante el árbol de objetivos 35
1.4.3. Identificación de alternativas de solución 36
1.4.4. Marco del Proyecto 36

CAPÍTULO 2. Marco teórico ***37***

2.1. Diseño y construcción de un relleno sanitario **37**

2.2. Formación y composición de los lixiviados **38**

2.3. Tratamiento de efluentes lixiviados **41**
2.3.1. Tratamiento biológico 42
2.3.2. Tratamiento fisicoquímico 45
2.3.3. Síntesis de tecnologías convencionales 46
2.3.4. Tecnologías de Membranas 47

2.4. Plantas de tratamiento de lixiviados en Argentina **49**
2.4.1. Norte III, José León Suárez, Buenos Aires 49
2.4.2. Villa Domínico, Buenos Aires [59] [81] 50
2.4.3. Ensenada, Buenos Aires [60] 51
2.4.4. González Catán, Buenos Aires [61] 51
2.4.5. Mar del Plata, Buenos Aires [15] 52

CAPÍTULO 3. Condiciones de diseño ***53***

3.1. Estimación de caudal de lixiviados **53**
3.1.1. Balance hídrico del relleno 53
3.1.2. Datos Básicos de Diseño 56
3.1.3. Generación de gases 59
3.1.4. Cálculo de la escorrentía 61
3.1.5. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada 61
3.1.6. Estimación de la generación total de lixiviados esperada 63
3.1.7. Caudal de diseño 69

3.2. Estimación de la carga contaminante a remover **69**

3.2.1. Caracterización fisicoquímica estimada del efluente 73
3.2.2. Condiciones de vuelco de efluentes líquidos 74

CAPÍTULO 4. Alternativas de tratamiento 76

4.1. Alternativa 1 76
4.1.1. Pretratamiento 77
4.1.2. Tratamiento secundario 77
4.1.3. Tratamiento terciario 82
4.1.4. Deshidratación de lodos 82

4.2. Alternativa 2 84
4.2.1. Pretratamiento 84
4.2.2. Tratamiento primario 85
4.2.3. Tratamiento secundario 86
4.2.1. Tratamiento terciario 88
4.2.1. Deshidratación de lodos 88

4.3. Resumen de diferencias entre tecnologías 88

CAPÍTULO 5. Memoria de cálculo 89

5.1. Bombeo 89
5.1.1. Casetas de bombeo 89
5.1.2. Estación de impulsión 89

5.2. Alternativa 1 94
5.2.1. Laguna Anaeróbica 94
5.2.2. Bombeo intermedio 98
5.2.3. Lodos activados 100
5.2.4. Nitrificación 103
5.2.5. Desnitrificación 106
5.2.6. Verificación de consumo y producción de alcalinidad 110
5.2.7. Sistema de aireación 111
5.2.8. Sedimentación 115

5.3. Alternativa 2 122
5.3.1. Pretratamiento 122
5.3.2. Bombeo intermedio 127
5.3.3. Tratamiento primario: Coagulación-floculación-sedimentación 129
5.3.4. Sistemas de dosificación 136
5.3.5. Tratamiento secundario MBR 138
5.3.6. Nitrificación 143
5.3.7. Desnitrificación 144
5.3.8. Sistema de aireación 146

5.4. Tratamiento terciario 153
5.4.1. Adsorción con Carbón Activado 153
5.4.2. Desinfección 153

5.5. Deshidratación de lodos 154

5.6. Panel de control 155

CAPÍTULO 6. Selección de tratamiento definitivo 156

6.1. Eficiencia de tratamiento 156
6.1.1. Alternativa 1 156
6.1.2. Alternativa 2 156
6.1.3. Conclusión 157

6.2. Superficie ocupada 157
6.2.1. Alternativa 1 157
6.2.2. Alternativa 2 158
6.2.3. Conclusión 158

6.3. Análisis económico 158
6.3.1. Inversión inicial 158
6.3.1. Costo operativo 161

6.4. Resumen de comparativa 165

CAPÍTULO 7. Planos 166

CAPÍTULO 8. Estudio de Impacto Ambiental 167

8.1. Introducción 167

8.2. Metodología 167

8.3. Delimitación del Área de Influencia del proyecto 170
8.3.1. Jurisdicciones involucradas - Localización geográfica 170
8.3.2. Sitio de emplazamiento del proyecto 172
8.3.3. Área de influencia 173
8.3.4. Área de influencia indirecta 173
8.3.5. Área de influencia directa 173

8.4. Descripción del proyecto 174
8.4.1. Acciones identificadas 175

8.5. Marco legal e Institucional 176
8.5.1. Normativa Nacional 177
8.5.2. Normativa Provincial 178
8.5.3. Normativa Municipal 179
8.5.4. Normativa específica de la Disposición Final 180
8.5.5. Análisis de implicancias para el Proyecto 180
8.5.6. Actores institucionales de la GIRSU 181

8.6. Línea de Base Socio Ambiental 184
8.6.1. Medio Físico Biológico 184
8.6.1. Medio Socio Económico 193
8.6.2. Dinámica poblacional 194
8.6.3. Población turística y dinámica estacional 196
8.6.4. Vías de comunicación 196
8.6.5. Usos del suelo actuales 198
8.6.6. Zonas de reserva 199
8.6.7. Análisis de las implicancias 201

8.7. Nivel Socioeconómico 201
8.7.1. Indicadores socioeconómicos 201
8.7.2. Actividades económicas 202
8.7.3. Identificación de los grandes generadores 202
8.7.4. Provisión de servicios 203
8.7.5. Estimación de la población según niveles socioeconómicos 205
8.7.6. Análisis de las implicancias para la GIRSU 208

8.8. Componentes del medio 209

8.9. Identificación y ponderación de impactos ambientales 209
8.9.1. Descripción de impactos en fase de construcción 209
8.9.2. Descripción de impactos en fase de funcionamiento 212

8.10. Matriz de impactos 216

8.11. Plan de gestión ambiental 217
8.11.1. Medidas de mitigación 217
8.11.2. Plan de Monitoreo Ambiental 219
8.11.3. Plan de Contingencias Ambientales 219

8.12. Conclusión 221

CAPÍTULO 9. Conclusiones finales 222

9.1. Conclusiones del proyecto 222

9.2. Conclusiones personales 223

CAPÍTULO 10. Bibliografía 224

CAPÍTULO 11. Anexos 230

11.1. ANEXO I: PLANOS 231
11.1.1. Implantación general. 232
11.1.2. Implantación en sitio de disposición final. 233
11.1.3. Detalle de pozos de bombeo. 234

11.2. ANEXO II: PRESUPUESTO 235
11.2.1. Fuente 235
11.2.2. Ejemplo de presupuesto 237

11.3. ANEXO III: Superficie de módulos del relleno sanitario 239

RESUMEN EJECUTIVO

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO DEL PARTIDO DE NECOCHEA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

por LUCILA MERCEDES SANDRI

Tutora: Profesora Ing. Ruth Rodríguez
Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA – UNSAM)

La falta de gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) es una problemática global con una fuerte incidencia en la Argentina. La contaminación ambiental es el impacto más visible, sin embargo, trae aparejado una falta de inclusión social y sustentabilidad económica. Es por ello que su solución no puede carecer de acercamientos holísticos y sistemas de gestión integrales que contemplen la totalidad de los factores y actores implicados [1].

El partido de Necochea está ubicado sobre la costa atlántica del sur de la Provincia de Buenos Aires. En él residen 92.933 habitantes de forma permanente, los cuales generan 0,800 kg de RSU por día. A éstos se les suma, de forma estacional, la generación de los turistas que visitan esta ciudad balnearia. La generación diaria promedio del partido es de 70 tn/día [2] [3].

El partido no cuenta con un relleno sanitario para la disposición final de los residuos. Los RSU son llevados a un basural a cielo abierto (BCA) semicontrolado de aproximadamente 11,3 hectáreas ubicado a 9 km del centro de la Ciudad. En dicho basural se practica la quema periódica de los residuos, lo cual constituye una fuente de contaminación atmosférica. Además, al no contar con la adecuada impermeabilización, tanto los residuos como los líquidos lixiviados, están en contacto con el suelo. Los lixiviados son efluentes altamente contaminantes que resultan del contenido líquido de los residuos más el arrastre de aguas lluvias, y, en este caso, son capaces de infiltrarse en el suelo, pudiendo alcanzar las napas de agua subterránea [4] [2]. En este marco, resulta pertinente desarrollar el proyecto de saneamiento del actual basural junto con la construcción de un relleno sanitario y la correspondiente planta de tratamiento de los líquidos lixiviados, la cual será el objeto de estudio del presente trabajo [5].

El diagnóstico de la problemática local vinculada a la gestión de los RSU se presenta en el Capítulo 1. Para su elaboración, además del análisis bibliográfico, se han realizado entrevistas a varios funcionarios, exfuncionarios y especialistas locales entre los que se destacan: el actual subsecretario de Obras Públicas de Necochea, Ing. Guillermo Botella; el actual supervisor de Higiene Urbana de Necochea, Adrián Ciancaglini; el ex Secretario de Planificación y Medio Ambiente de Necochea, Martín Sarasíbar (2003-2011); el arquitecto José María Zingoni, co-autor del Plan Urbano Ambiental: Plan Estratégico-Participativo de Desarrollo Urbano Ambiental del Partido de Necochea (2006); la Mg. Lic. Rosana Ferraro, co-autora del Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Pretratamiento de Efluentes Cloacales Necochea-Quequén (2007). Tras dicho análisis, se presenta el árbol de problemas y soluciones para el área de estudio [3] [6] [7] [8] [9].

En el Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico en el que se sustenta el proyecto. Se detallan los procesos de formación de lixiviado y las variables que afectan su composición y generación. El capítulo incluye un resumen del estado del arte de las tecnologías disponibles para el tratamiento de los efluentes lixiviados. A su vez, se presenta el relevamiento de la experiencia local por medio de la descripción de las plantas de tratamiento de lixiviados ubicadas en la provincia de Buenos Aires y operadas por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE). Para completar el marco teórico vinculado a la temática de residuos y lixiviados, se han realizado entrevistas con especialistas técnicos de CEAMSE: el Subgerente de Planificación, Ing. Carlos Fontán, el Subgerente del Área Residuos Privado y Especiales, Ing. Jorge Brion; el jefe del Departamento Control de Plantas de Tratamiento de Líquidos Lixiviados, Ing. Gustavo Pinciroli [10] [11] [12].

En el Capítulo 3 se presentan las condiciones de borde y de diseño empleadas junto a la metodología de estimación de caudales y composición del efluente crudo.

En el Capítulo 4 se detalla la memoria descriptiva de la planta de tratamiento de efluentes lixiviados para el relleno sanitario de Necochea. Se proponen y comparan dos alternativas de tratamiento: la Alternativa 1 cuenta con un tren de tratamiento al que se lo podría considerar "convencional" ya que se encuentra en sintonía con la experiencia hallada en rellenos sanitarios existentes en la Argentina [13] [14] [15] [16]. El mismo consiste en un tratamiento anaeróbico lagunar, un reactor anóxico, un reactor de lodos activados de aireación extendida, un sedimentador circular y un tratamiento terciario compuesto por una desinfección química y luego, filtros de carbón activado y deshidratación de lodos. La Alternativa 2 cuenta con una tecnología avanzada como es el biorreactor de membrana. Al MBR le antecede una laguna de ecualización y un tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación-sedimentación. Al igual que la primera alternativa, también cuenta con un reactor anóxico, un tratamiento terciario con filtros de carbón activado y un deshidratador de lodos.

En el Capítulo 5 se presenta la memoria de cálculo de todas las unidades de tratamiento incluidas en cada alternativa. El capítulo se organiza en las siguientes secciones para cada unidad: Datos de partida, Parámetros de diseño, Cálculos y Resultados. Se detallan las configuraciones y dimensiones de las unidades estructurales, como también la cantidad, potencia y especificaciones de los equipos implicados.

Se han comparado las dos alternativas en cada uno de los siguientes criterios: la eficiencia del tratamiento, la superficie ocupada, la inversión inicial, la potencia instalada y la producción de lodos. El resultado del análisis, que se describe en el Capítulo 6, indica que la mejor propuesta técnica y económica es la Alternativa 2.

Los planos del proyecto y su alcance se mencionan en el Capítulo 7.

En el Capítulo 8 se desarrolla el Estudio de Impacto Ambiental para la planta de tratamiento de efluentes lixiviados. Se incluye la Línea de Base Socio Ambiental, el listado de impactos contemplados para las acciones del proyecto, su ponderación y, finalmente, el Plan de Gestión Ambiental cuyo fin es evitar, minimizar y mitigar los posibles impactos negativos del proyecto. Los resultados del Estudio indican que el proyecto es ambientalmente viable impactando de forma positiva en el ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos del Partido.

Finalmente, el Capítulo 9 reúne las conclusiones finales y personales del trabajo.

En el Anexo que acompaña el presente documento se encuentran los planos dimensionales y el diagrama de flujo del proyecto, las fuentes presupuestarias y demás información vinculada a la formulación del Proyecto Final Integrador.

CAPÍTULO 1. Diagnóstico y caracterización

El diagnóstico de todo proyecto tiene por objetivo definir una línea de base, es decir, delimitar la situación del medio antes de ser implementado el proyecto. En este capítulo se relevan los siguientes aspectos claves para el desarrollo obras de gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU): el territorio, la población, la generación y composición de RSU y la gestión de residuos en el Municipio [17].

1.1. El Territorio

1.1.1. Ubicación

El área de estudio corresponde al partido de Necochea, ubicado sobre la costa atlántica del sur de la Provincia de Buenos Aires. El partido linda al Oeste con el partido de San Cayetano, al Norte con el partido de Benito Juárez, al Este con los partidos de Tandil y Lobería y al Sur con el Mar Argentino (Figura 1). La superficie total del partido es de 4.791,57 km^2.

Los dos centros urbanos más importantes son Necochea y Quequén, ubicados a orillas opuestas del río Quequén Grande. Ambas ciudades conforman un mismo sistema urbano de rango intermedio, cuyo rol es reconocido como centro de servicios zonal. [18].

Necochea es la ciudad cabecera del partido homónimo, importante centro turístico, fundado en 1881 sobre la margen derecha del río Quequén Grande. La ciudad de Quequén, con uno de los principales puertos cerealeros de Argentina, fue fundada en el año 1854 y se sitúa en la margen izquierda del río. En 1979, dejó de pertenecer al partido de Lobería para ser anexada al partido de Necochea por el gobierno de la provincia de Buenos Aires.

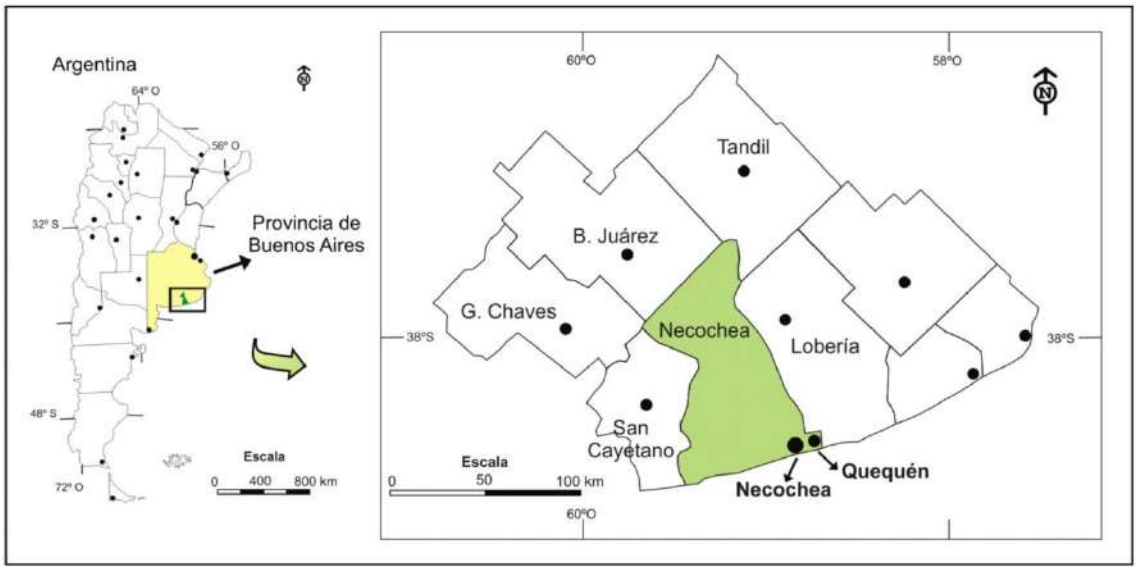


Figura 1. Ubicación del Partido de Necochea y sus ciudades principales [8].

A su vez, el Partido de Necochea cuenta con cinco localidades de menor tamaño: éstas son Juan N. Fernández, Nicanor Olivera, Claraz y R. Santamarina y Energía. Todas comparten similitudes en antigüedad y criterios fundacionales, como en origen de la población, servicios

básicos existentes, grado de ordenamiento territorial y de organización social [19]. Si bien presenta distintas escalas de desarrollo, la problemática que les es similar a todas es su distancia con la cabecera del Partido.

1.1.2. Población actual

La caracterización de la población y su proyección es particularmente importante puesto que determinará la principal variable de diseño del proyecto (cantidad y composición de RSU) [17].

En el 2010, el partido de Necochea registró un total de 92.933 habitantes, de los cuales 44.420 eran hombres y 48.513 mujeres. La mayoría femenina coincide con la tendencia observada en el resto de la provincia y del país. A su vez, el 91,2% de la población del Partido reside en el núcleo urbano conformado por la ciudad de Necochea y la ciudad de Quequén. En la Tabla 1 y en la Figura 2 se presenta la evolución de la población por localidad según los últimos tres censos nacionales [20].

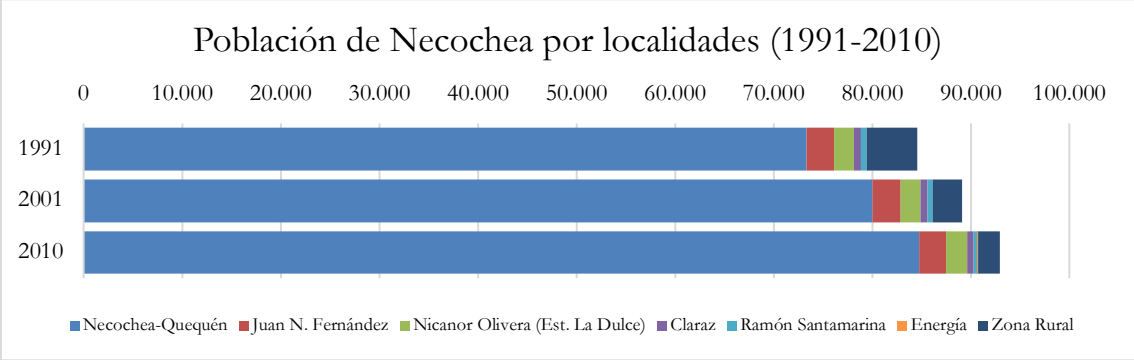


Figura 2. Evolución de la población de Necochea, por localidad (1991-2010) [20].

Tabla 1. Población (en habitantes) por localidad y porcentaje sobre el total (T%) del Partido de Necochea (1991-2010) [20].

Localidad	Año - Censo					
	1991		2001		2010	
	Población	%T	Población	%T	Población	%T
Necochea-Quequén	73.331	86,7%	80.029	89,8%	84.784	91,2%
Juan N. Fernández	2.771	3,3%	2.886	3,2%	2.721	2,9%
Nicanor Olivera (Est. La Dulce)	2.013	2,4%	1.978	2,2%	2.131	2,3%
Claraz	720	0,9%	733	0,8%	639	0,7%
Ramón Santamarina	606	0,7%	473	0,5%	430	0,5%
Energía	-	-	-	-	63	0,1%
Zona Rural	5.140	6,1%	2.997	3,4%	2.165	2,3%
Total	84.581	100%	89.096	100%	92.933	100%

1.1.3. Dinámica poblacional

La población del Partido ha incrementado significativamente en las últimas décadas, con una tasa de crecimiento decreciente (Tabla 2). Entre 1970 y 1980, la población aumentó un 44%, mientras que, en la década siguiente, la tasa de crecimiento se redujo a un 15%. En último período intercensal registrado, 2001-2010, el partido tuvo un crecimiento poblacional

del 4,3%. Sin embargo, para el mismo período, el crecimiento del conglomerado Necochea-Quequén, fue 5,9%. En cuanto a la variación de la población rural, esta enfrenta una marcada disminución debido a la emigración hacia las urbes. La misma se redujo en 62,3% en las últimas dos décadas relevadas (Tabla 2).

Tabla 2. Crecimiento de la población del Partido y del conglomerado Necochea-Quequén (1970-2010) [21] [20]. (TCIC: Tasa de crecimiento intercensal; TCIA: Tasa de crecimiento interanual)

	Año – Censo				
Indicador	1970	1980	1991	2001	2010
Población Partido	51.145	73.634	84.581	89.096	92.933
TCIC Partido	-	44,0%	14,9%	5,3%	4,3%
TCIA Partido	-	4,4%	1,4%	0,5%	0,5%
TCIC Necochea-Quequén	-	-	-	9,1%	5,9%
TCIA Necochea-Quequén	-	-	-	0,9%	0,7%

1.1.4. Población turística y dinámica estacional

La ciudad de Necochea cuenta aproximadamente con 110.000 plazas de alojamiento en establecimientos hoteleros y extrahoteleros. Los alojamientos extra-hoteleros comprenden campings, casas y departamentos para alquilar, los cuales representan el 80% del total de plazas. Trece complejos balnearios disponen de 3000 unidades de sombra y existe una centena de establecimientos gastronómicos [21].

La estacionalidad del turismo interno en el partido es muy marcada y se concentra en un 70 % entre los meses de diciembre y marzo. El 30% restante se centra en los fines de semana largos del año y el receso escolar de invierno. La ocupación de las plazas es variable a lo largo de la temporada, pero no hay información estadística al respecto [21] [22]. En 2001, la población estable de unos 80.000 habitantes se aproximaba a unos 120.000 en temporada de verano por el arribo de los turistas, que en total giraba en los 500.000 visitantes [21]. Según la entrevista realizada al ex Secretario de Planeamiento y Medio Ambiente de Necochea, Martín Sarasíbar, actualmente, la población a atender en el pico de la temporada estival es de 180.000 habitantes. El pico normalmente ocurre en la 3er semana del mes de enero. Sin embargo, los cambios en los hábitos turísticos del país han trasladado los picos de ocupación a los fines de semana largo, en especial el de carnaval en febrero [7].

La ciudad es elegida mayormente por el grupo etario que oscila entre los 25 y los 40 años, siendo el grupo familiar -con hijos- el 75% del mercado total. La estadía promedio durante la temporada oscila entre 3 y 10 días. [22] La estructura de la población turística coincide con los sectores activos más numerosos de la población local. Esto induce a tomar la suposición de que sus hábitos de consumo serán semejantes, pudiéndose asignar las tasas y características de generación de RSU del grupo local, al grupo turista.

1.1.5. Proyección Poblacional a 20 años

La proyección de la población a servir resulta un parámetro clave en la estimación del tamaño adecuado de cualquier obra de índole sanitario, incluidos los sitios de disposición final de los residuos de un partido. La proyección debe realizarse teniendo en cuenta datos censales recientes y contemplar las tendencias de crecimiento de la población de estudio.

Para este caso, se han considerado cuatro escenarios posibles de crecimiento poblacional, que se presentan en la Figura 3. Los mismos son el resultado de la aplicación de cuatro métodos diferentes de estimación de poblaciones. El método empleado por el INDEC para las poblaciones de la Argentina suele ser el de Incrementos Relativos, que en este caso resultó ser la proyección de menor crecimiento [23]. Los métodos geométricos y aritméticos representan la cota superior de las proyecciones. Considerando el análisis histórico de la población del Partido, e identificando una tendencia de descenso en la tasa de crecimiento, se opta por el método de Crecimiento a Tasa Decreciente.

Se toma como población inicial la estimada para el año 2022, considerando dos años para el inicio de la operación del proyecto. Por medio del método seleccionado, se obtendría una población de 101.306 habitantes para el año 2041, tras 20 años de servicio.

Cabe destacar que el grado de confianza de las proyecciones es inferior al requerido, al no contarse con datos censales actualizados. Se deberán revisar las proyecciones tras el censo planificado para el corriente año 2020.

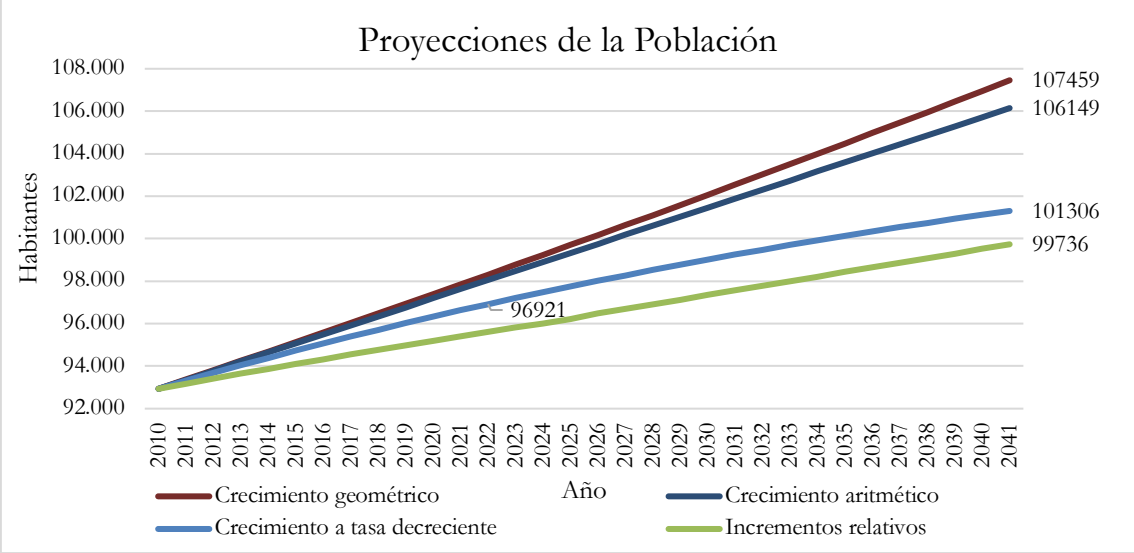


Figura 3. Proyecciones de la población de Necochea por cuatro métodos de estimación posibles. Elaboración propia a partir de datos censales [24] [25].

En lo que respecta la proyección de la población turista, se ha contemplado un aumento gradual de las plazas disponibles. Frente a la falta de estadísticas para analizar las tendencias de ocupación hotelera, se plantea la previsión del servicio para el 100% de las plazas en la segunda quincena de enero y en los feriados y fines de semana cortos y largos del verano. Lo anterior representa un total de 43 días en los que la infraestructura y servicios de Necochea son exigidos en su máxima capacidad. Para el resto de la temporada alta y los fines de semana largos del año, se estima un 70% de ocupación de plazas. Este período contempla 60 días, incluyendo el verano y 5 fines de semana fuera del mismo. Debido a la crudeza del clima en invierno, no se registra un aumento de la población a servir en la temporada baja.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de las estimaciones de la población local como de los turistas para el tiempo de vida del proyecto.

Tabla 3. Estimaciones de población a servir (local y turista) y cantidad de días al año en la que se deberá prestar servicio a esa población.

Año	Proyección población residente	Plazas de hospedaje	Población turística en Picos de Temporada	Población turística en Temporada
2022	96.921	110.000	110.000	77.000
2032	99.475	115.000	115.000	80.500
2041	101.306	119.500	119.500	83.650
Días al año	365	-	43	60

1.2. Caracterización de RSU

Una correcta planificación de gestión de los RSU precisa de una adecuada caracterización de su composición y una precisa estimación de las cantidades generadas. También es de gran importancia la generación proyectada, así como tener en cuenta las tendencias de cambio en la composición [17].

1.2.1. Generación

El indicador más representativo respecto a la cantidad de residuos producidos está dado por la "generación per cápita" (GPC), equivalente a la cantidad medida en kilogramos que produce cada habitante diariamente. La GPC puede ser medida de forma directa por medio de la recolección y posterior pesada de los RSU de una muestra de viviendas de la cuales se conoce la cantidad de habitantes. También puede ser estimada en forma indirecta, dividiendo la cantidad de RSU ingresados al sitio de disposición final, por la población servida por dicho servicio de recolección.

Lamentablemente, no existe control periódico del peso de los RSU recolectados. La información recabada corresponde a 3 instancias puntuales en las que se han pesado los camiones en una balanza pública antes de llegar al predio del destino final [21]. En 2006, la cantidad de RSU recolectados en forma diaria era de 60 toneladas [21]. En 2015, esa cifra aumentó a 66,5 tn/día, según lo relevado por la Defensoría de la Provincia de Buenos Aires [2] [26]. El dato más actualizado fue el provisto por el responsable de Recolección de Residuos del Municipio, Adrián Ciancalgini: en 2018 se registró un pesaje de 70 tn/diarias y, según informa el funcionario, este valor sigue vigente en 2020 [3].

Teniendo en cuenta dichos valores, la población del municipio estimada para cada año y el porcentaje de cobertura del servicio, la tasa de generación per cápita (GPC) en 2006 era de 0,731 kg de RSU por habitante por día. En el 2015 se estimó en 0,780 kg/hab/día. Para el 2018, la GPC aumentó a 0,813 kg/hab/día. En la Tabla 4 se presentan los parámetros considerados para el cálculo de la GPC. Además, se presentan las tasas de incremento en la GPC entre períodos como también interanual, considerando la cantidad de años de separación entre la toma de los valores.

Tabla 4. Estimación de Generación per Cápita para el Partido de Necochea. Elaboración propia a partir de [21], [2] y [3]

Año	RSU recolectados (tn/día)	Estimación población (hab)	Cobertura (%)	GPC (kg/hab/día)	Aumento (%)	
2006	60	91208	90	0,731	Total	Interanual
2015	66,5	94734	90	0,780	6,7%	0,7%
2018	70	95717	90	0,813	4,2%	1,4%

Asimismo, el partido presenta una variación estacional en su régimen de generación de RSU. En los meses de verano, la cantidad de residuos recolectados aumenta por la presencia de turistas. El servicio de recolección es reforzado con mayores frecuencias en las áreas más concurridas [27]. La generación diaria de la temporada en 2006 fue de 150 toneladas, lo que corresponde a un aumento estival del 150% de su generación normal. Sin embargo, Ciancaglini informó que, en la actualidad, la recolección estival es de un 20-25% por sobre la del resto del año, lo que equivale a entre 84 y 87,5 toneladas diarias. En lo que respecta a la temporada, también informó que la recolección se mantiene constante en el período que va del 20 de diciembre al 15 de marzo. Además, informó que los refuerzos de recolección fuera de la temporada estival no están programados, sino que se van coordinando en función de la ocupación turística. Esto aplica a los fines de semana largos y el receso invernal [3]. En la proyección de la generación se deberá tener en cuenta que la recolección estival puede no acompañar la verdadera generación.

En la Tabla 5 se presentan los valores de la GPC, tanto los relevado en el mismo territorio, como las estimaciones realizadas por organismos nacionales e internacionales para ciudades del tamaño poblacional de Necochea.

Tabla 5. Indicador Generación per Cápita de RSU para ciudades del rango poblacional indicado para la República Argentina. Elaboración propia a partir de [21], [2], [28], [29] y [30].

Fuente	Tipo de medición	Lugar de medición o Rango poblacional	GPC media (kg/hab/día)
Plan Urbano Ambiental, 2006	Local	Necochea	0,731
Defensoría de la Provincia de Buenos Aires, 2015	Local	Necochea	0,780
Municipio, 2018	Local	Necochea	0,813
ENGIRSU, 2005	Nacional	Media del país 50.000-99.000 habitantes 100.000-199.000 habitantes	0,910 a 0,950 0,890 0,970
BID-AIDIS-OMS, 2010	Nacional	50.000-300.000 habitantes	1,020
EPGIRSU, 2019	Provincial	50.000-300.000 habitantes	1,020

En cuanto a los residuos de los grandes generadores del municipio, no se los estimará por separado ya que el indicador GPC de RSU lo incluye. Los RSU, a diferencia de los RSD

(Residuos sólidos domiciliarios) integran no sólo los residenciales sino también los provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyan los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucional, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en las oficinas de las industrias, en el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

1.2.2. Composición

Debido a la falta de estudios de caracterización de los RSU del Partido de Necochea, se deberá estimar la composición de los mismos por medio de valores de bibliografía.

Se cuenta con datos de composición por niveles socioeconómicos a nivel nacional como también de ciudades cercanas como Mar del Plata y Bahía Blanca. Según el BID (2013), la composición media de los RSU en Argentina es la que se indica en la Figura 4.

En 2015, se realizó un estudio de composición de RSU ingresados al Centro de Disposición Final de Residuos de la ciudad de Mar del Plata. El propósito de esta investigación fue determinar las composiciones porcentuales de los RSU provenientes de tres rutas de recolección sin tratamiento previo para obtener información actualizada sobre las características de generación y composición de dichos residuos. Cada ruta pertenecía a una zona de la ciudad de distinto nivel socioeconómico. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

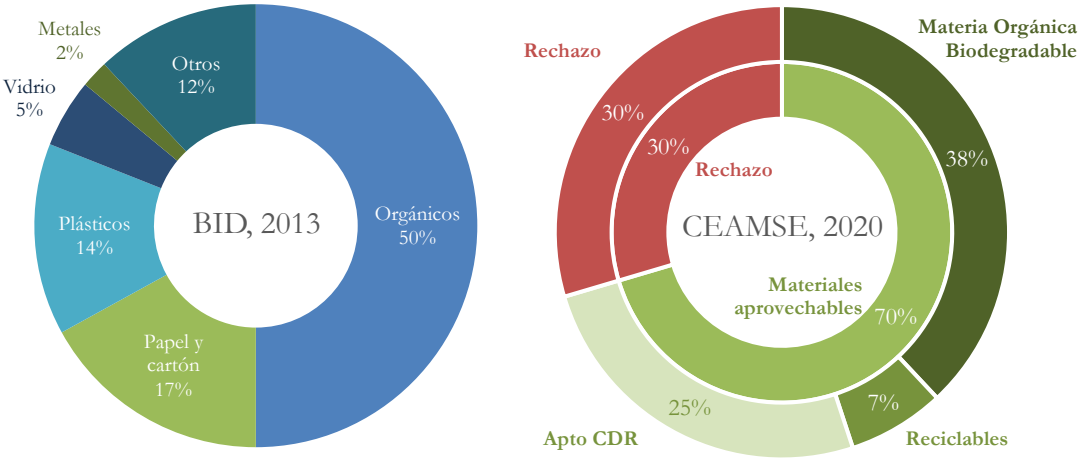


Figura 4. Composición media de los RSU de la Argentina según [31] y [32].

Al no contar con un estudio de composición en el área de estudio, para el presente proyecto, se considerará a la composición de los RSU de Necochea como semejante a la composición media de la Argentina, como estimada por el BID en 2013. También se considerará la clasificación de materiales según CEAMSE en lo que respecta los tratamientos posibles. Sin embargo, será necesario realizar el correspondiente estudio de caracterización de RSU en el Partido para confirmar las suposiciones tomadas en este análisis.

Tabla 6. Composición de RSU en la ciudad de Mar del Plata [33].

Fracción	Ciudad de Mar de Plata			Partido de Bahía Blanca
	NSE Bajo	NSE Medio	NSE Alto	NSE no especificado
Desechos alimenticios	48,26%	49,51%	45,56%	Orgánicos: 48,00%
Residuos de poda y jardinería	10,64%	6,90%	15,67%	
Papel y cartón	6,42%	9,11%	6,83%	11,00%
Plásticos	13,36%	13,95%	12,37%	18,00%
Vidrio	2,77%	3,55%	3,35%	7,00%
Metales	1,32%	1,48%	1,35%	3,00%
Otros	17,23%	15,50%	14,87%	13,00%

1.3. Gestión Integral de RSU en Necochea

1.3.1. Recolección

Desde el año 1988, el servicio de recolección de RSU del Municipio de Necochea se realiza mediante empresas privadas, las cuales son elegidas en un proceso licitatorio reglamentado en el Pliego de Bases y Condiciones Generales [34].

La prestación contempla el conjunto de procesos orientados a la recolección, transporte, descarga y tratamiento (mediante el sistema de relleno sanitario) de los residuos generados por los habitantes de las localidades urbanas indicadas. El 4to artículo del pliego indica que: "Se entiende por Recolección de Residuos, la recolección de los residuos, basura, ramas y follajes y demás desperdicios que se originen en los domicilios particulares y que el vecino deja en la acera en el frente de su domicilio, en las horas habilitadas para efectuar la recolección, incluyendo, además lo provenientes de los edificios públicos, comerciales e industriales, hospitales, supermercados, mercados de concentración, etc. [35]."

Actualmente, la recolección se hace en forma manual y son recogidos todos los residuos colocados en el cordón de la vereda en bolsas de plástico u otros recipientes descartables de cualquier otro tipo de material o dentro de contenedores [21]. Asimismo, se recolectan los residuos no domiciliarios de gran volumen en forma gratuita hasta 3 m^3. El servicio comprende el retiro de ramas, chatarras, escombros, pasto u hojas embalados y electrodomésticos. Los mismos pueden estar localizados en puntos fijos o en montículos generados por la inadecuada disposición de los usuarios. Los anteriores pueden ser identificados en el momento de la recolección o bien ante el pedido de los usuarios o vecinos. Existe un número telefónico para tal fin [36].

En cuanto a la cobertura del servicio, actualmente este abarca 96.000 cuadras, lo que equivale a un área donde reside el 90% de la población. El 10% restante sin cobertura se trata, en su mayoría, de población aislada, cuya configuración barrial es semirrural, con espacios baldíos desocupados, o loteos con distancias considerables entre una y otra vivienda. Las calles próximas a estas viviendas son de tierra, a veces sin desagües pluviales, ni cloacas ni red de agua potable. El tratamiento que le dan a los residuos difiere entre la misma población: se entierra, la queman o la dejan tirada a cielo abierto, en un baldío próximo a la vivienda o bien alejada de la misma [21].

Tabla 7. Frecuencias y características de recolección por localidad del Partido de Necochea [21].

Localidad	Frecuencia de recolección
Necochea	Zona céntrica: se realiza en horario nocturno, con un total de cuatro rutas y con una frecuencia diaria de domingo a viernes. Implica la recolección de residuos de 1886 cuadras diarias o lo que es lo mismo 49.036 por mes. Zona periférica: se realiza en horario diurno con un total de tres rutas y con una frecuencia día por medio. Con recolección de 750 cuadras o 9750 por mes.
Quequén	Zona céntrica: Se realiza en horario diurno, con un total de dos rutas y frecuencia diaria de 651 cuadras – 16926 cuadras / mes. Zonas periféricas: Se realiza en horario diurno, con un total de dos rutas y frecuencia trisemanal de 540 cuadras o su equivalente mes de 7020 cuadras de recorrido.
Juan N. Fernández	Toda la localidad se realiza en horario diurno con un total de una ruta y frecuencia diaria de 163 cuadras, 4238 por mes.
Nicanor Olivera (La Dulce)	Toda la localidad se realiza en horario diurno con un total de una ruta y frecuencia diaria con 180 cuadras o sea 4680 por mes.
Ramón Santamarina y Energía	Lo realiza el municipio los días lunes, miércoles y viernes. Los RSU no se transportan al SDF del Partido. Se disponen localmente en un basural a cielo abierto local.
Claraz	Lo realiza el municipio los días lunes y viernes. Los RSU no se transportan al SDF del Partido. Se disponen localmente en un basural a cielo abierto local.

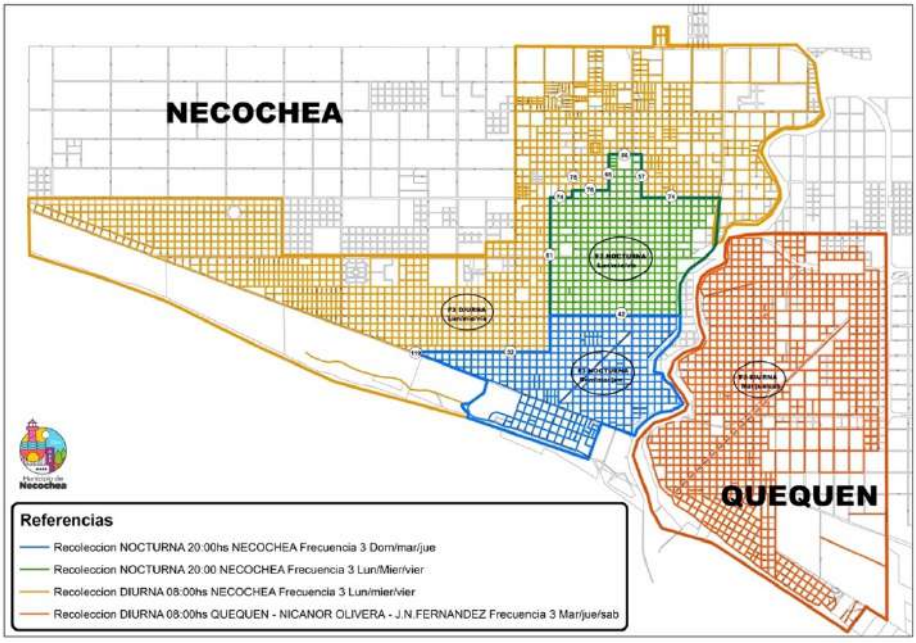


Figura 5. Recorridos de recolección a partir de marzo 2020 por la pandemia de coronavirus COVID-19 [37].

Los recorridos y frecuencias de recolección dependen de la demanda estimada per cápita, por zona y estacionalidad, contemplando todo el espectro urbano y las modificaciones que se vayan planteando. Se contempla la recolección puerta a puerta de las localidades de Necochea, Quequén, Juan N. Fernández y Nicanor Olivera. En la Tabla 7 se indican las frecuencias de recolección para las localidades del municipio. En la Figura 5 se presentan las rutas de recolección actualizadas a marzo 2020. El sistema de recolección domiciliaria de residuos sufrió alteraciones debido a las medidas adoptadas por el gobierno para evitar la propagación del coronavirus [37].

1.3.2. Barrido y Limpieza

El servicio de barrido y limpieza de espacio públicos de la Ciudad de Necochea se realiza en las calles pavimentadas, todos los días en el sector playa (2 a 22 y 71 a 89) y en el microcentro (53 a 65 y 58 a 74). En el resto de la zona, se presta servicio cada 15 o 20 días. En lo que respecta a la ciudad de Quequén, se realiza de acuerdo con la demanda y disposición desde la Delegación Municipal [21].

El Cementerio Municipal recibe un mantenimiento que incluye tareas de corte de pasto de su interior (8 hectáreas) y su exterior (0,6 hectáreas). Además, se realizan los desmalezados y podas de terrenos en los que se ponen a disposición equipos municipales (planta colectora, árboles en aperturas de calles, etc.). Asimismo, para la preservación de la higiene pública, se realizan los desmalezados y podas en terrenos privados por orden municipal [21].

La prestación de este servicio se encuentra a cargo de la Dirección de Servicios Públicos dependiente de la Secretaria de Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Necochea [21].

No hay registros de la cantidad de residuos generados por dicha actividad, ni tampoco del destino final de los mismos. Si bien el servicio se cumple satisfactoriamente, hay una falta de personal suficiente como también de herramientas para optimizar el servicio [21].

No hay registros de los servicios de barrido y limpieza en el resto de las localidades del Partido.

Figura 6. Cesto de residuos del Centro Cívico de Necochea. Foto: Juan Manuel Gallardo.

1.3.3. Recuperación y Reciclaje

La recuperación de materiales y su reinserción en el sistema de consumo es un aspecto de gran importancia en la gestión de los RSU. Esto se debe, en primer lugar, a la capacidad para impactar positiva o negativamente desde el aspecto social y en segundo término por el hecho de que permite reducir las cantidades de materiales que se destinan a disposición final.

Necochea cuenta con un programa de reciclado a cargo de la Asociación de Padres y Amigos de Discapacitados "Todo para Ellos". Esta actividad busca dar respuesta a dos problemáticas en simultáneo: "la inserción laboral y social de personas discapacitadas a largo plazo, y el cuidado del medio ambiente, modificando hábitos y pautas de consumo y disposición de residuos" [38].

Los operarios del Taller Protegido trabajan desde el año 2003 en la recuperación de RSU entre los que se encuentran PET, PEAD, papel y cartón. Los beneficiaros del Taller reciben grandes cantidades de estos materiales diariamente, los cuales provienen de los diferentes puntos limpios de acopio que tiene el Taller distribuidos por la ciudad de Necochea (Figura 7). Los operarios clasifican los distintos materiales para que luego sean enfardados y comercializados. [39]

El proyecto inició en el año 2003 con la colaboración del municipio y otros actores gubernamentales. A su vez, el Taller fue ganador de varios premios, con cuya remuneración se pudo financiar la compra de equipamiento necesario para aumentar la capacidad de procesamiento del Taller [21] [38].

Actualmente, trabajan en el emprendimiento 42 operarios, que realizan sus tareas, en forma parcial o total, siendo supervisados por personal capacitado. En el período 2003 a 2012, se han recuperado y vendido aproximadamente 400 toneladas de PET [38].

Con el paso del tiempo se ha ido incrementando la cantidad disponible de material a reciclar. Esto se debe en parte al aumento de conciencia ambiental en el conjunto de la población, a partir de las campañas de educación y concientización que organiza el mismo taller -operarios y supervisores.

La disponibilidad de materiales recuperables, separados en origen, ha ido en aumento en los últimos años. Esto se le atribuye a la toma de conciencia ambiental de la población, propiciada por las campañas de educación y concientización que organiza el mismo Taller [21]. En este marco, el Taller Protegido "Todo para Ellos" tiene las siguientes metas a corto y mediano plazo:

- Mejorar la infraestructura, lugar amplio donde se pueda desarrollar todo el proceso de trabajo desde el acopio hasta el enfardado (actualmente se trabaja en dos sedes, ajustándose a instalaciones inadecuadas con las que se cuentas)
- Implementar la recolección diferenciada del residuo sólido plástico (a trabajar con la empresa recolectora y el Municipio).
- Incrementar centros de acopio en la ciudad.
- A largo plazo, realizar todo el proceso de reciclado del material [21].

Figura 7. Centro de recolección de materiales reciclables de la Asociación Todo Para Ellos. Foto: Juan Manuel Gallardo.

1.3.3.1. Capacidad instalada y proyectada

Actualmente, el Taller recibe 70 toneladas anuales de PET que son recolectadas de los más de 70 puntos de recepción en el municipio. Dichos puntos se encuentran distribuidos de Necochea y Quequén (Figura 7). En las oficinas de las delegaciones municipales de Juan N. Fernández y La Dulce hay otros 2 puntos de acopio.

1.3.4. Recolección informal

En las ciudades de Necochea y Quequén existen recolectores de botellas, hierro, papel y cartón. Entre 15 y 20 recuperadores trabajan en el actual predio de disposición final. Su trabajo no está regulado ni tampoco cuentan con una organización de tipo cooperativa. También hay trabajo de cirujeo de algunos grupos familiares en el "antiguo basural municipal" [21].

1.3.5. Gestión de residuos no domiciliarios

1.3.5.1. Residuos patogénicos

Los residuos patogénicos (RP) son todos aquellos desechos o elementos materiales en estado sólido, semisólido liquido o gaseoso que presentan características de toxicidad y/o actividad biológica que puedan afectar directa o indirectamente a los seres vivos, y causar contaminación del suelo del agua o la atmósfera; que se han generado por motivo de la atención de pacientes (diagnóstico, tratamiento, inmunización o provisión de servicios a seres humanos o animales), así como también en la investigación y/o producción comercial de elementos biológicos.

Por su naturaleza peligrosa, los RP son excluidos de la gestión de los RSU al tiempo que cuentan con una normativa específica que regula su tratamiento y disposición segura.

A partir de 2013, la empresa Sistemas Ambientales S.A. es la prestadora del servicio de recolección, transporte y disposición final de la totalidad de los residuos patogénicos que se generan en los hospitales, centros de salud y unidades sanitarias del Partido [40]. La empresa realiza el tratamiento de los RP en su centro ubicado en Mar del Plata. El tratamiento consiste en la esterilización por autoclave [41]. Este tipo de tecnología trabaja con vapor saturado a presión y altas temperaturas, que con su elevado poder calórico penetra en los residuos causando la destrucción de los microorganismos, entre los que se encuentran los posibles patógenos contenidos en los residuos [42].

1.3.6. Estaciones de transferencia

No hay estaciones de transferencia en el Partido.

1.3.7. Disposición final

La problemática ambiental que sufre el municipio no difiere de la situación que atraviesan la mayoría de los partidos de la provincia de Buenos Aires. Necochea no cuenta con un sitio de disposición adecuado para sus RSU. Por el contrario, los mismos son recolectados y transportados a un basural semicontrolado de 12 hectáreas ubicado a 8,9 km del centro de la Ciudad.

El mismo ha llegado a tener notoriedad pública en el año 2019, no sólo por el daño ambiental que supone, sino también por las irregularidades halladas en la toma de posición del terreno por parte de la empresa prestadora del servicio público.

1.3.7.1. Localización geográfica de los sitios de disposición final

En la Figura 8 se presenta la ubicación del SDF del Partido de Necochea y una imagen satelital del mismo. En la misma Figura se indican los límites del campo de la familia Esbensen, dueños del predio lindero al VC. La propiedad resulta el área habitada más vulnerable por la extrema cercanía al SDF. Asimismo, el actual predio en donde se ubica el SDF originalmente también pertenecían a esta familia. Los conflictos existentes sobre la titularidad del terreno serán abordados en la sección correspondiente.

Información adicional sobre distancias y accesos al predio están informados en la Tabla 8.

Figura 8. Ubicación del relleno imagen satelital del Basural a Cielo Abierto del Partido de Necochea. Elaboración propia en QGIS 3.10.4 a partir de Google Satellite.

Tabla 8. Información espacial acerca del SDF [2].

Ubicación basural	Latitud: 38°31'03.5"S Longitud: 58°49'48.6"O
Área estimada – hectáreas	11,30
Distancia al municipio – km	8,9
Distancia a escuela más próxima – km	6,2
Distancia a zona urbana – km	6,2
Distancia a aeródromo - km	2,5
Ruta de acceso al predio	Camino Viejo a la Dulce

1.3.7.2. Capacidad ocupada

Por la falta de pesajes y de registros de cantidad de camiones ingresados al SDF, se desconocen los volúmenes reales de RSU allí dispuestos.

Se ha realizado una estimación en base a los dos pesajes conocidos del partido -fuera de temporada- para 2006 y 2015. A dichos valores se los ha extrapolado linealmente en todo el período. Para estimar la recolección de RSU en los otros 2 periodos del año (picos de temporada alta, temporada alta) se han asumido los siguientes factores de aumento con respecto a la recolección fuera de temporada (población residente): 2,5 y 1,75 respectivamente.

Se estima que una cantidad cercana a 752.675 de toneladas fue enterrada en el período 2001-2020. Se presenta la Tabla 9 con los valores calculados por año y tipo de población. La cantidad de días al año de residencia -y, por ende, de recolección- de cada población es la indicada en la Tabla 3.

Tabla 9. Estimación de residuos dispuestos en Sitio de Disposición Final, según tipo de población, 2001-2020. PR: Población residente; P P-TA: Población en Picos Temporada Alta; P TA: Población Temporada Alta; P TB: Población Temporada Baja. Datos reales marcado en **rojo**.

Año	Recolección diaria RSU (tn/día)				Disposición Anual RSU (tn)				
	PR	P P-TA	P TA	P TB	PR	P P-TA	P TA	P TB	Acumulado
2001	56,4	141,0	98,7	70,5	20582	6062	5921	987	**33551**
2002	57,1	142,8	99,9	71,4	20846	6139	5997	999	**33981**
2003	57,8	144,6	101,2	72,3	21109	6217	6072	1012	**34411**
2004	58,6	146,4	102,5	73,2	21373	6295	6148	1025	**34841**
2005	59,3	148,2	103,7	74,1	21636	6372	6224	1037	**35270**
2006	**60,0**	**150,0**	105,0	75,0	21900	6450	6300	1050	**35700**
2007	60,7	151,8	106,3	75,9	22164	6528	6376	1063	**36130**
2008	61,4	153,6	107,5	76,8	22427	6605	6452	1075	**36559**
2009	62,2	155,4	108,8	77,7	22691	6683	6527	1088	**36989**
2010	62,9	157,2	110,1	78,6	22954	6761	6603	1101	**37419**
2011	63,6	159,0	111,3	79,5	23218	6838	6679	1113	**37849**
2012	64,3	160,8	112,6	80,4	23482	6916	6755	1126	**38278**
2013	65,1	162,6	113,8	81,3	23745	6993	6831	1138	**38708**
2014	65,8	164,4	115,1	82,2	24009	7071	6907	1151	**39138**
2015	**66,5**	166,3	116,4	83,1	24273	7149	6983	1164	**39568**
2016	67,2	168,1	117,6	84,0	24536	7226	7058	1176	**39997**
2017	67,9	169,9	118,9	84,9	24800	7304	7134	1189	**40427**
2018	68,7	171,7	120,2	85,8	25063	7382	7210	1202	**40857**
2019	69,4	173,5	121,4	86,7	25327	7459	7286	1214	**41286**
2020	70,1	175,3	122,7	87,6	25591	7537	7362	1227	**41716**
								Total	**752675**

1.3.7.3. Organización institucional para la prestación del servicio de disposición final

Para poder comprender el trasfondo político de la gestión de residuos de Necochea es preciso detenerse en los sucesos que anteceden.

Hasta el año 1988, la prestación del servicio de disposición final de los RSU estaba a cargo del municipio. El sitio de disposición final era el antiguo basural municipal, predio de una manzana ubicado en las calles 109 y 82 de la ciudad de Necochea. La primera empresa privada en ser adjudicada el servicio de recolección y disposición final fue Farfallini, quien contaba con un predio propio para la disposición. Dicha empresa operó durante 10 años.

En diciembre de 1998, la empresa conformada por Álvarez y Patiño resultó adjudicataria de la licitación por la recolección y disposición final de los residuos del municipio. La empresa es oriunda de Lomas de Zamora, Provincia de Buenos Aires. El contrato tenía una duración de 10 años, pero en noviembre de 2001, en plena crisis económica nacional, la

empresa fue vendida a Servicios Ambientales Necochea S.A. (SANSA), de origen Necochense, quien asumió la responsabilidad del servicio. En ese mismo año y bajo la nueva administración, se decidió designar un nuevo predio para la disposición de los RSU. Se iniciaron tratativas para adquirir un campo de 12 hectáreas situado en el km 6 del Camino Viejo a la Dulce, a 5000 metros de la Ruta Provincial 228. El mismo pertenecía a la familia Esbensen, oriunda de Necochea. En abril de 2002 se inauguró el predio que contaba con 4 cavas impermeabilizadas para la disposición de los RSU [3].

Servicios Ambientales Necochea S.A. continuó prestando el servicio de recolección y disposición, a pesar de las irregularidades en los pagos de la tasa por parte del municipio. Durante ese período de crisis económica, y por 18 meses, los RSU recolectados se dispusieron en el sector final del predio sin ningún recaudo ambiental. Según informó Ciancagliani, responsable de Recolección de Residuos del Municipio, en ese sector se removió una profundidad de 2 metros de tierra superficial para disponer allí de los RSU de ese período [3].

En 2015, frente a una inminente quiebra de SANSA, el municipio lanzó una licitación por los servicios de recolección y transporte de los RSU. En mayo de 2015, se le adjudicó el servicio a la única empresa oferente: Recolección y Limpieza Ambiental Sociedad Anónima (RELISA), a quien se le cedió el personal y bienes materiales de la anterior adjudicataria. El contrato indicó una duración del servicio de 12 años con opción de renovación de 4 años más. El monto acordado por los 12 años fue de $ 1.017.266.575, lo que corresponde a un gasto anual de $84.772.215. El predio propuesto por RELISA para la disposición de los RSU fue el mismo usado por la antigua adjudicataria [43] [44].

1.3.7.4. Titularidad del predio

Según alega la familia Esbensen, la empresa Servicios Ambientales Necochea S.A. nunca completó la transacción por la compra del predio en 2001. La empresa no realizó el pago acordado, pero sí tomó posesión del terreno y comenzó a disponer allí de los RSU del municipio.

Según lo informado por el ex Secretario de Planeamiento, Infraestructura y Medio Ambiente, Arq. Martín Sarasíbar, y el actual responsable de Recolección de RSU del Municipio, Adrián Ciancaglini, el conflicto entre los privados no habría ocurrido por los mismos motivos que alega Esbensen. Según lo que informaron los funcionarios, en 2001 la empresa Álvarez y Patiño le entregó al titular una seña de dinero, lo que conllevó a la firma del boleto de compra por la propiedad. Al momento de escriturar, no pudieron finalizar la transacción ya que la propiedad se encontraba inhibida por deudas contraídas por el titular. Esto desencadenó en un juicio entre ambas partes que aún hoy persiste.

El 14 de abril de 2015, el titular legal del predio, Carlos Esbensen, entregó una nota al presidente de la Comisión de Medio Ambiente del Concejo Deliberante, a fin de denunciar que "la empresa Servicios Ambientales Necochea S.A. había incumplido en forma reiterada el pliego de bases y condiciones, la legislación provincial en materia de relleno sanitario y la legislación nacional". Por otra parte, se supo que Servicios Ambientales Necochea S.A. tenía cuatro inhibiciones por parte de la AFIP, por lo que en esa condición estaba impedida de efectuar cualquier tipo de cesión, como la que se disponía a concretar del predio a RELISA [43].

A continuación, se transcribe un extracto de la carta de Esbensen que hace mención tanto de las condiciones del predio como de las irregularidades de la oferta presentada por RELISA:

"El predio de disposición final de los residuos sólidos urbanos no cuenta con cavas recubiertas por membrana. No cuenta con tratamiento de líquidos lixiviados y con sistema de venteo de gas metano. Como consecuencia de ello, se han contaminado las napas de agua, la tierra y hay incendios constantes que deben ser apagados por empleados de la empresa como por bomberos.

Con motivo de no contar con el sistema de venteo de gas metano, con fecha 5 de enero de 2009 se produjo un incendio que destruyó campos linderos por los cuales se promovieron las siguientes acciones judiciales, en que la Municipalidad de Necochea resulta codemandada. Seguidamente se consignan las acciones entabladas por María Angélica Hiriburu y otros c/ Servicios Ambientales S.A. y otro s/pretensión indemnizatoria exp. Nº 2959; Elena Juliano de Echaves exp. Nº 2963; Cristian Martin Larrea exp. Nº 2962; Manuel Babil Lecumberry exp. Nº 2964; Ernesto Pablo Mancno exp. Nº 2960; Juan Carlos Molina exp. Nº 2965.

En principio, en la oferta no se presentó el estudio de prefactibilidad del predio, emitido por el OPDS. Nunca podrá obtener la declaración de impacto ambiental del OPDS para poder comenzar a operar el servicio debido a las condiciones desastrosas en que se encuentra el predio y que son de público conocimiento. Nunca se respetó la técnica del relleno sanitario y eso está a la vista. Asimismo, y siendo suscripto el titular del dominio del predio, conforme el título de propiedad acompañado al expediente N° 2189/15 y entregado en mano al presidente del Concejo Deliberante de Necochea, nunca prestaré mi consentimiento para que dicho predio sea utilizado por ninguna empresa.

Asimismo, debemos destacar el pasivo ambiental que deja la empresa Servicios Ambientales Necochea S.A y que solicitamos sea constatado por la dependencia correspondiente. Dicho pasivo será soportado por la Municipalidad, y por ende los contribuyentes, en caso de que no se tomen las medidas necesarias para que la empresa Servicios Ambientales Necochea S.A garantice en modo alguno el pasivo denunciado."

Carlos Andrés Esbensen

DNI 5.380.179

Fuente: [43]

Figura 9. Fotografía del sitio de disposición final de Necochea. La misma fue presentada en el documento donde figuran las personas que accionaron contra Servicios Ambientales Necochea S.A por daños provocados en sus establecimientos por el incendio en 2009. [43]

En la Figura 9 se presenta la imagen del predio de Esbensen que utilizó Servicios Ambientales y que finalmente cedió a la nueva concesionaria, RELISA. La foto pertenece al documento donde figuran las personas que accionaron contra Servicios Ambientales Necochea S.A por daños provocados en sus establecimientos por el incendio en 2009 [43].

En mayo de 2019, el predio y su problemática tanto ambiental como legal fueron protagonistas de un informe periodístico realizado por América Noticias. En la misma se mostraron imágenes aéreas del basural (Figuras 25 y 26) como también de los laterales del predio. Se pudo observar la falta de control en la operación del sitio, manifestándose en cavas sin cobertura, de gran altura, y presencia de gran cantidad de aves. En el informe, se evidenció que no hay control sobre qué tipos de residuos que ingresan al predio.

1.3.7.5. Estado actual y obras proyectadas

A continuación, se listan las irregularidades del sitio de disposición final de Necochea que hacen inminente su cese de operaciones para dar lugar a un sistema de relleno sanitario tal como lo estipula el Pliego de Bases y Condiciones del Municipio:

- El predio presenta un alambrado olímpico que abarca aproximadamente un tercio del perímetro del terreno, el resto cuenta con alambrado rural de cinco hilos. La cortina forestal sólo se halla en la parte frontal del predio. Se observa una zanja perimetral
- De las cuatro cavas registradas en 2006, sólo una contaba con una membrana de polietileno sin suelo de cobertura de protección y sin anclaje en uno de sus lados. La membrana fue colocada directamente sobre el manto de tosca.
- Las cavas originales se encuentran totalmente colmadas formando una única masa de residuos sin cobertura final, presentan una altura aproximad de 6 m.
- La pileta de acopio de líquidos lixiviados se halla sin uso y sin impermeabilización. No hay tareas de recolección y tratamiento de los mismos, de acuerdo a lo manifestado por personal del municipio [3].
- No existe control de ingreso de residuos, ni sistema colector de aguas pluviales. Hacia la parte posterior del predio y en continuación con la última cava se dispusieron por 18 meses los residuos directamente sobre suelo natural sin recaudo alguno. Para esta práctica se realizó una excavación previa de 2 metros de profundidad con el fin de remover la cobertura natural. Esta práctica continúa en la actualidad, según lo que reflejan los vuelcos en imágenes satelitales. La altura de coronamiento de este sector es variable pero no supera los 2 metros.
- No hay definición de la cota de coronamiento (altura final de la cava), la misma llega a los 6 metros aproximadamente y no se ha iniciado la cobertura final de los residuos dispuestos.
- En este basural se producen quemas periódicas, según lo informado en el "Informe Basurales a Cielo abierto - La problemática en la Provincia de Buenos Aires" [2]. A su vez, el Arq. Sarasíbar informó que la frecuencia de incendios es de 2 o 3 al año. En su mayoría ocurren en verano, por el aumento de la temperatura y la baja en las precipitaciones.
- Los vecinos de los campos contiguos al predio están afectados por los olores, los vectores, el impacto visual, el vuelo de las bolsas plásticas y demás residuos livianos, y por la generación de focos de incendio.

- Se observa una gran cantidad de animales atraídos por los residuos, entre los que se mencionan aves, insectos y roedores. [21] [45]

En la Figura 10 y la Figura 11 se presentan fotografías aéreas del sitio de disposición de residuos de Necochea, del año 2019. En ellas se puede observar el predio correspondiente a las cavas originales, ahora conformando ahora un único montículo de RSU compactados. No se identifica ninguna pileta de recolección o tratamiento de lixiviados. A la izquierda del camino central, se observan las 2 cavas nuevas vacías, una de ellas con agua de lluvia.

Figura 10. Vista aérea del SDF de Necochea en mayo de 2019. [45]

Figura 11. Vista aérea del SDF de Necochea en mayo de 2019. [45]

Con respecto a las obras proyectadas por parte del Municipio, según informó Ciancaglini, está prevista la ampliación de la capacidad del sitio con la operación de 2 cavas nuevas. Las mismas se ubican a la izquierda del camino central y les faltan los trabajos de impermeabilización.

La segunda obra prevista es la construcción de una planta de tratamiento de RSU en la entrada del predio. Las bases del playón se pueden ver en la Figura 12. El objetivo del tratamiento es separar la fracción PET para poder contribuir con la labor de reciclaje del Taller Protegido "Todo para Ellos".

La tercera medida que proyectan es el saneamiento del sector posterior del predio (Figura 12). Las tareas de saneamiento involucrarían la instalación de tubos de venteo de gases, seguido de la compactación del terreno y la cobertura con tierra negra. Dichas obras se encuentran sin fecha estimada de ejecución por falta de presupuesto.

En la Figura 12 se presenta una imagen satelital del predio en donde se indican las áreas correspondientes a (1) las cavas originales de 2002, (2 y 3) las cavas nuevas sin uso, (4) el sector que recibió residuos sin ningún tipo de recaudo y se proyecta sanear, y (5) el playón en donde se proyecta la construcción de la planta de clasificación de residuos.

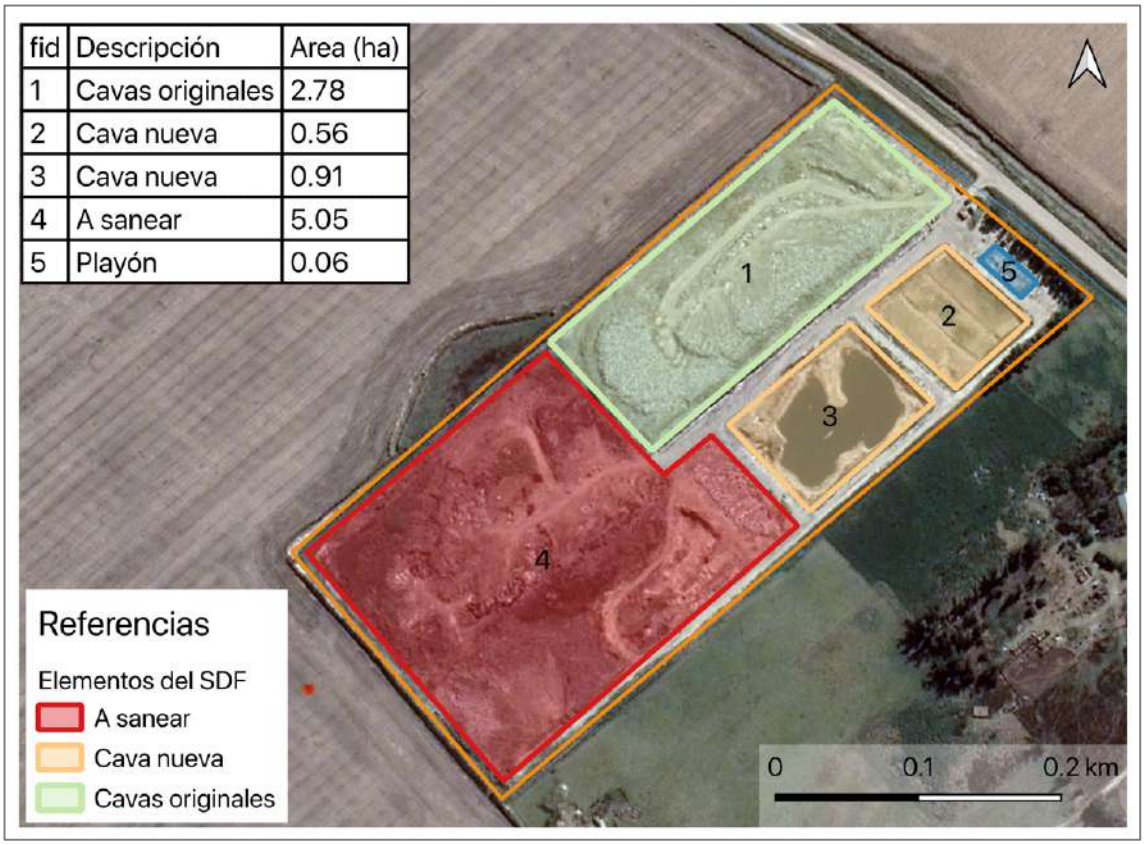


Figura 12. Imagen satelital del predio en septiembre 2019 (Google Satellite). Se indican los sectores correspondientes a las cavas originales, nuevas, el área a sanear y el playón donde se proyecta construir la planta de tratamiento. Elaboración propia.

1.3.7.6. Capacidad remanente

A continuación de analizan la capacidad remanente del predio. Para ello, se han numerado los módulos, empezando por el que debe ser cerrado (módulo 0), los dos módulos ya excavados (módulos 1 y 2) y se ha separado al área a sanear en 3 sectores: un área de reserva, y dos módulos proyectados (módulos 3 y 4). En la Figura 13 se presenta cada sector con su correspondiente área superficial (en hectáreas).

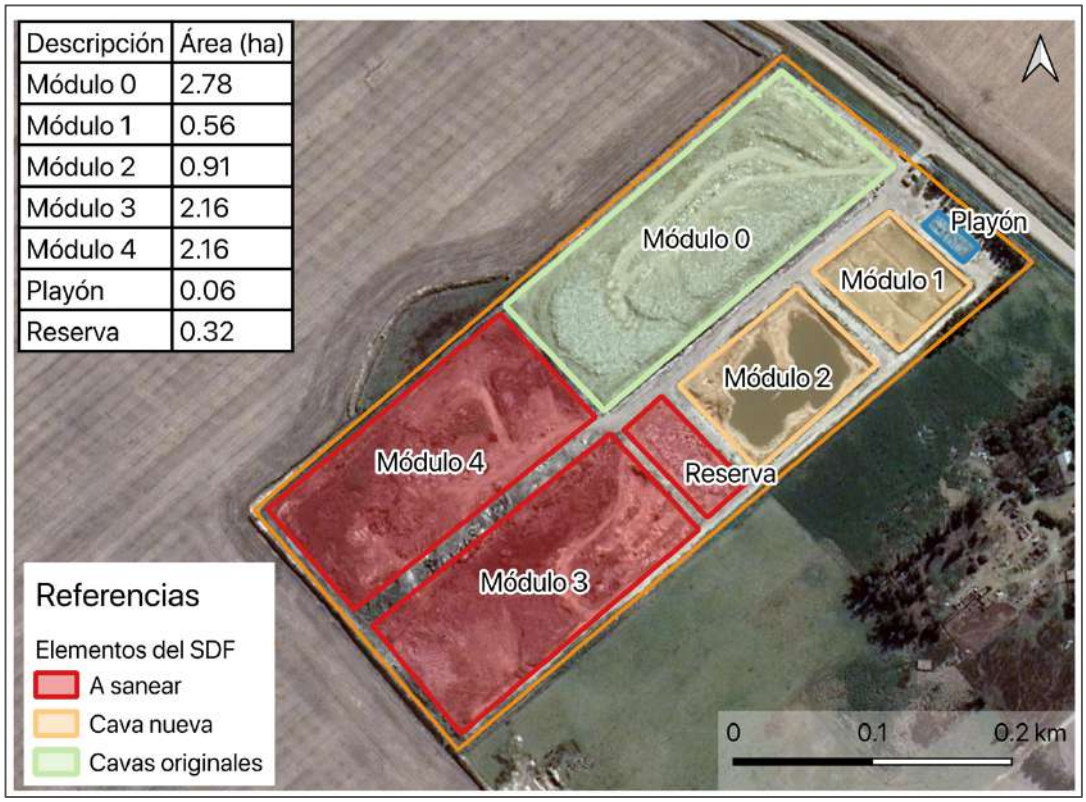


Figura 13. Imagen satelital del predio en septiembre 2019 (Google Satellite). Se indican los módulos numerados y su correspondiente área superficial (en hectáreas). Elaboración propia.

Los módulos 1 y 2 tienen una profundidad de 3 m. El método de disposición de RSU en el predio es el de trinchera en combinación con área. La profundidad de la zanja es de 3 m y la altura del módulo sobre el nivel del terreno es de otros 3 m. Para los módulos proyectados también se respeta la misma profundidad y altura. La capacidad de cada módulo se presenta en la Tabla XX

Tabla 10. Capacidad de recepción de RSU de cada módulo.

Módulo	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m^2)	Profundidad (m)	Altura (m)	Volumen (m^3)
0	347	80	27800	3	3	166800
1	70	80	5600	3	3	33600
2	114	80	9120	3	3	54720
3	250	80	21600	3	3	120000
4	250	80	21600	3	3	120000
					Total	495120

1.3.7.7. Efluentes líquidos

No hay registros de análisis de los lixiviados del SDF en los 20 años de funcionamiento del predio. Para la estimación de la composición de los efluentes líquidos se considerarán caracterizaciones de bibliografía como también de la experiencia de rellenos sanitarios de la Argentina. La estimación se describe en la Sección 2.2 Formación y composición de los lixiviados.

1.3.7.8. Basurales y micro Basurales

1.3.7.8.1. Antiguo Basural Municipal

El antiguo basural municipal se encuentra delimitado por las calles 99 a 107, entre 82 y 90, y comprende una superficie de 16 ha. El sitio lleva más de 25 años sin ser empleado como predio oficial de disposición final de los RSU de Necochea. Sin embargo, la empresa Álvarez y Patiño SA fue demandada por el vuelvo clandestino de RSU en el mismo [46]. Actualmente, la falta de mantenimiento y supervisión se mantiene como un basural a cielo abierto con proliferación de roedores y moscas [21].

En la Figura 14 se presentas 6 imágenes satelitales del predio desde 2007 hasta 2019. Se observan caminos como surcos de tierra entre la vegetación y los depósitos de residuos como las características manchas blancas. La segunda imagen se corresponde al año 2012 y se observa claramente una estela de humo provocado por un incendio localizado en el predio. La variación en los tamaños y ubicación de las manchas blancas indica que los vuelcos de residuos siguen ocurriendo. En el último año se observa una disminución del tamaño de las manchas. Sin embargo, el basural no ha sido saneado y se observa la permanencia de residuos en el terreno.

Figura 14. Evolución del antiguo basural municipal de Necochea. Imágenes satelitales de 2007, 2012, 2015, 2017, 2018, 2019, de izquierda a derecha, de arriba abajo (Google Earth).

En la Figura 15 se presenta la ubicación del predio en relación a la ciudad de Necochea.

1.3.7.8.2. Microbasurales a Cielo Abierto

En los últimos 10 años, la municipalidad ha desarrollado varias campañas de limpieza para la recuperación de espacios urbanos y la eliminación de microbasurales (MB) en la ciudad [47] [48]. Las zonas afectadas por el vuelco clandestino de RSU y residuos no domiciliarios son varias. Entre ellas se mencionan las siguientes: calle 107 de 58 a 66 (Figura 16); calle 39 de 90 a 94; calle 90 de 39 a 45 (Figura 18); calle 43 de 102 a 106 (Figura 19) [48]; intersección de 44 y 85 y calle 53 entre 78 y 80 [47].

Según el responsable de Recolección de Residuos del Municipio, la formación de MB ha disminuido considerablemente desde que el Municipio ha puesto a disposición el retiro gratuito de voluminosos hasta 2 m^3 [3].

En la Figura 15 se presenta la ubicación de los MB de la ciudad de Necochea.

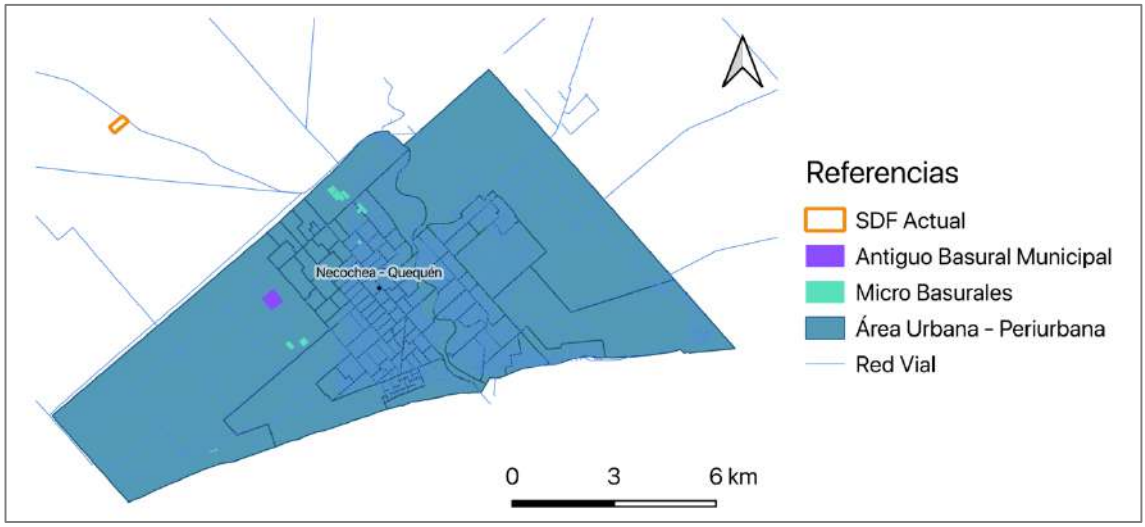


Figura 15. Ubicación de los microbasurales y del antiguo basural municipal de la ciudad de Necochea. Elaboración propia en QGIS 3.10.4.

Figura 16. Evolución de microbasural calle 107 entre 58 y 66. Imágenes satelitales de 2011 y 2019 (izq. a der.) (Google Earth).

Figura 17. Evolución de microbasural dentro de Parque Miguel Lillo, 2007 y 2019 (izq. a der.) (Google Earth).

Figura 18. Evolución de microbasural calle 39 de 90 a 94 y calle 90 de 39 a 45. Imágenes satelitales de 2007, 2011, 2016 y 2019 (izq. a der.) (Google Earth).

Figura 19. Evolución de microbasural calle 43 de 102 a 106. Imágenes satelitales de 2007, 2011, 2016 y 2019 (izq. a der.) (Google Earth).

1.4. Identificación de problemáticas

A continuación, se presentan las principales problemáticas del sistema de gestión de los RSU de Necochea:

Principal Problema

- *El sitio de disposición no cumple con los criterios técnicos obligatorios*

No se cumplen los recaudos mínimos que están establecidos en la normativa y en el pliego de bases y condiciones para el tratamiento y disposición final de los RSU en el Partido.

Problemas secundarios:

- *Escaso ejercicio del "Poder de Policía" ambiental del Municipio.*

El Municipio realiza una tercerización del servicio de recolección y disposición de los residuos con la intención de mejorar la calidad, eficiencia, y extensión. Asimismo, conserva la responsabilidad de controlar del servicio y de ejercer el poder de policía para hacer cumplir la normativa relacionada a la gestión integral de los residuos.

Aun así, existe una flexibilización implícita por parte de la autoridad municipal al momento de controlar el deficiente cumplimiento del servicio público prestado por el concesionario. Se destaca especialmente el funcionamiento inadecuado del sitio de disposición final de residuos. La explicación de este fenómeno, según Martín Sarasíbar, ex Secretario de Planeamiento y Medio Ambiente de Necochea, es la combinación de lo siguientes factores: por un lado, hay una sola empresa privada en Necochea capaz de hacerse cargo del servicio; por otro, la escasez de recursos no permite aumentar la Tasa Gestión Ambiental con la que afrontar

los gastos de la correcta prestación [7]. El resultado es un municipio imposibilitado de exigir al concesionario que se atenga al estricto cumplimiento del pliego, ya que no tiene recursos para solventarlo.

1.4.1. Análisis del problema mediante el árbol de problemas

En la Figura 20 se presenta el árbol de problemas del proyecto, en el que se identifican las causas y los efectos asociados a la problemática. El problema sintetizado en que "el sitio de disposición final no cumple con los criterios técnicos sanitarios" se encuentra en el centro del árbol, enmarcado en azul.

Las causas se ubican en la sección inferior y se ramifican en dos raíces principales. La primera causa alude a la falta de criterios técnicos en la operación del SDF y la segunda al incumplimiento de la normativa. Como causas adicionales en la rama de operación se identifican los siguientes cinco niveles de deficiencia: la inadecuada disposición de los RSU en el SDF, el deficiente control de los vectores de enfermedades, el hecho de que los gases y los lixiviados no son captados ni tratados, y, por último, que los RSU se disponen sin una previa separación o tratamiento. La segunda causa principal tiene su raíz en la deficiente gestión, control y fiscalización por parte de las autoridades municipales y provinciales.

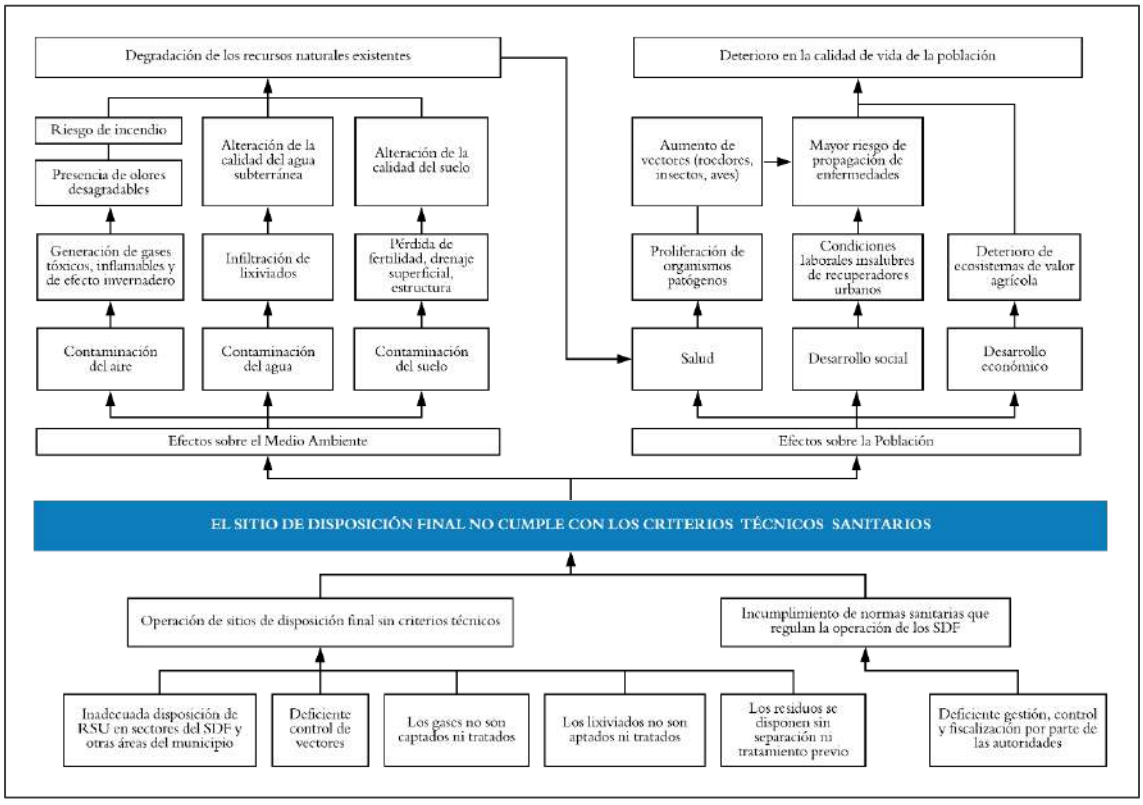


Figura 20. Árbol de problemas indicando el problema en el centro, las causas en la sección inferior y los efectos en la sección superior. Elaboración propia a partir de [4].

Los efectos se presentan en la sección superior de la Figura 20 separados en dos grupos: los efectos sobre el medio ambiente y los efectos sobre la población. Para el primer grupo se

identifica a la contaminación como la principal consecuencia sobre las 3 matrices que componen al ambiente, el aire, el agua y el suelo. En el aire, se identifican la generación -y liberación a la atmósfera- de gases tóxicos, inflamables y de efecto invernadero, como también la presencia de olores desagradables y el riesgo de incendio. En el agua, los efectos se relacionan a la infiltración de lixiviados y la consecuente alteración de la calidad del agua subterránea. En el caso del suelo, la disposición inadecuada afecta su fertilidad, capacidad de drenaje y estructura alternado la calidad en su conjunto. Los impactos en las tres matrices se sintetizan en una degradación de los recursos naturales del área.

Por la dependencia y el contacto de la población con la naturaleza es que se ha conectado el efecto sobre los recursos con el efecto sobre la salud. Esta, a su vez, es afectada por la proliferación de organismos patógenos contenidos en los RSU y transmitidos por vectores. El desarrollo social de los sectores vulnerables que emplean al SDF como fuente de trabajo es amenazado por condiciones laborales insalubres. Ambas ramas de efectos desembocan en la misma consecuencia: mayor riesgo de propagación de enfermedades. Por último, la tercera matriz social afectada es el desarrollo económico. La presencia del SDF en estas condiciones impone un deterioro de ecosistemas de valor agrícola, como los que rodean al SDF. En conclusión, el efecto total de este problema es el deterioro a la calidad de vida de la población en estudio.

1.4.2. Análisis de objetivos mediante el árbol de objetivos

En la Figura 21 se presentan los medios por los cuales se podrán dar solución el problema previamente identificado. Los fines u objetivos se ubican donde anteriormente fueron identificados los efectos.

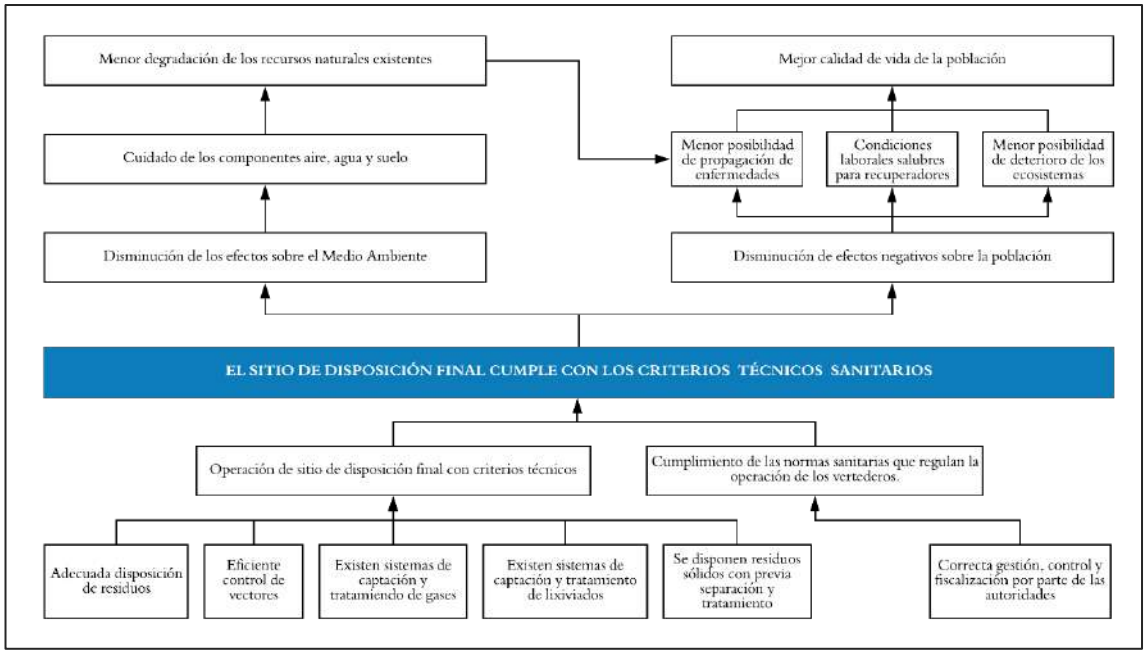


Figura 21. Árbol de medios y fines. Elaboración propia a partir de [4].

1.4.3. Identificación de alternativas de solución

Para cada base del árbol de objetivos, se buscaron acciones que capaces de concretar los medios planteados. El resultado se presenta en la Figura 22, con un total de 12 acciones.

Para las alternativas de separación y tratamiento de los RSU, se presentan aquellas consideradas técnica y económicamente viables en la escala de este proyecto. Las mismas han sido consideradas a partir del "Modelo de Factibilidad de Tratamiento de RSU de la República Argentina", realizado por la Ing. de Luca y el Ing. Giorgi en 2015, para ciudades de 50.000 a 100.000 habitantes [49].

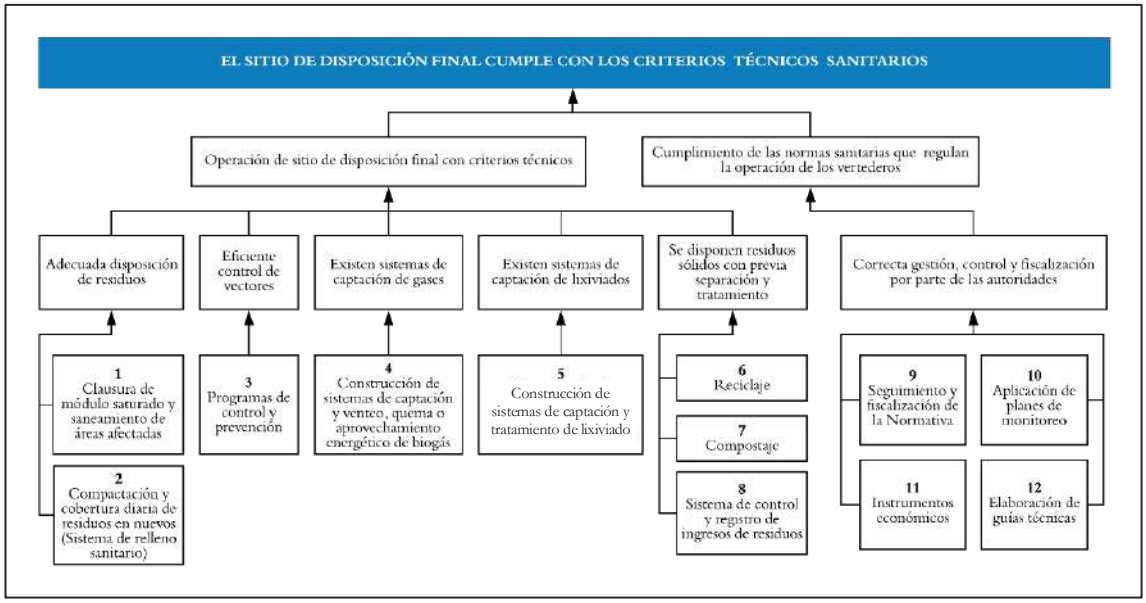


Figura 22. Árbol de soluciones. Elaboración propia a partir de [4]

1.4.4. Marco del Proyecto

Los escenarios factibles para un municipio del tamaño de Necochea contemplan la siguiente combinación de tratamientos:

a) Relleno sanitario

b) Reciclaje + Relleno Sanitario

c) Reciclaje + Compostaje + Relleno Sanitario

En este caso, a todos ellos debe sumarse la acción de saneamiento del actual predio.

Debido a que el Municipio ya ha planificado la instalación de una planta de segregación y reciclaje en el actual SDF, el presente proyecto se centrará en desarrollar la acción número 5: "Construcción de sistemas de captación y tratamiento de lixiviado", con especial atención a las alternativas posibles de tratamiento, bajo el escenario proyectado (b): Reciclaje + Relleno Sanitario.

CAPÍTULO 2. Marco teórico

A continuación, se describen las principales características de los rellenos sanitarios, sus componentes y unidades complementarias. En segunda instancia, se resume el estado del arte de los tratamientos de efluentes líquidos lixiviados.

2.1. Diseño y construcción de un relleno sanitario

Un relleno sanitario es una "técnica para la disposición final de los residuos sólidos en la tierra, sin causar perjuicio para el ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud, ni el bienestar y la seguridad pública" [50]. Este método consiste en depositar en celdas cavadas en la tierra, en montículos o bien desniveles del terreno los residuos sólidos, los cuales se esparcen y compactan reduciéndolos al menor volumen posible para que así ocupen un área pequeña.

Los rellenos se componen de módulos, que consisten en unidades de diseño circundada perimetralmente por un terraplén de cerramiento y circulación, por donde transiten los vehículos recolectores antes y después de la descarga de los residuos. El módulo conforma un recinto estanco que impide la migración de líquidos lixiviados hacia el exterior del mismo o se filtren hacia el acuífero. Debe evitar además el ingreso de agua del exterior (crecientes, lluvias) [51] [52].

A su vez, los módulos se separan en sectores, una subdivisión mediante bermas de separación (terraplenes de menor altura), generalmente impermeabilizadas. Esto se componen de celdas, las cuales están circundadas, en alguno de sus lados, por bermas removibles, con el fin de mantener los líquidos lixiviados encerrados en la menor área posible y evitar que entren en contacto con el agua de lluvia. Cuando los residuos alcancen el lugar donde se encuentre ubicada una de estas bermas, será removida parcialmente, para permitir que todo el lixiviado de un sector pueda llegar al lugar donde se coloquen los tubos de control y extracción de este líquido. De esta manera se minimiza significativamente el volumen del mismo [51].

En el desarrollo de esta tecnología se debe poner especial cuidado en que el fondo de las celdas y sectores tengan una superficie impermeable, uniformemente tratada en todo el módulo. El fondo del mismo debe tener pendientes que posibiliten el escurrimiento, concentración, control y extracción del lixiviado hacia el sistema colector y bocas de captación [51].

Un relleno sanitario forma parte de un complejo ambiental en el que se deben tratar los líquidos y gases que genera la descomposición de los residuos orgánicos. Los líquidos lixiviados se deben extraer y transportar a plantas de tratamiento donde son depurados para alcanzar los parámetros para permitir su vuelco o reutilización (riego de caminos, limpieza de maquinaria, etc.). El diseño y construcción de las bermas y drenaje en el interior del módulo, debe ser tal que se logre una separación efectiva de las aguas de lluvia de los líquidos lixiviados y minimizar al máximo el volumen a tratar. En los sitios previstos para la acumulación del líquido lixiviado, se colocan caños para el control y extracción del mismo [51].

El fondo y taludes deben ser impermeabilizados a fin de evitar la migración de líquidos y gases hacia el exterior del módulo, previniendo de esta manera la contaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas. La aislación deberá estar constituida por una barrera natural de 1,00 m de espesor mínimo y con una permeabilidad vertical K_f menor o igual a 1×10^{-7} cm/seg. Si en el sitio elegido no existe ese tipo de suelo, se podrá optar por una barrera artificial

de 1,00 m de espesor mínimo, con aquellos elementos que proporcionen una protección equivalente [53] [52].

Los gases deben ser extraídos del relleno con un sistema de captación mínimamente pasivo. En caso de factibilidad técnico-económica, se puede implementar un sistema de extracción activo que permita su tratamiento o recuperación para la producción de energía [53].

En la Figura 23 se presenta un esquema de un relleno sanitario junto a las unidades de tratamiento complementarias.

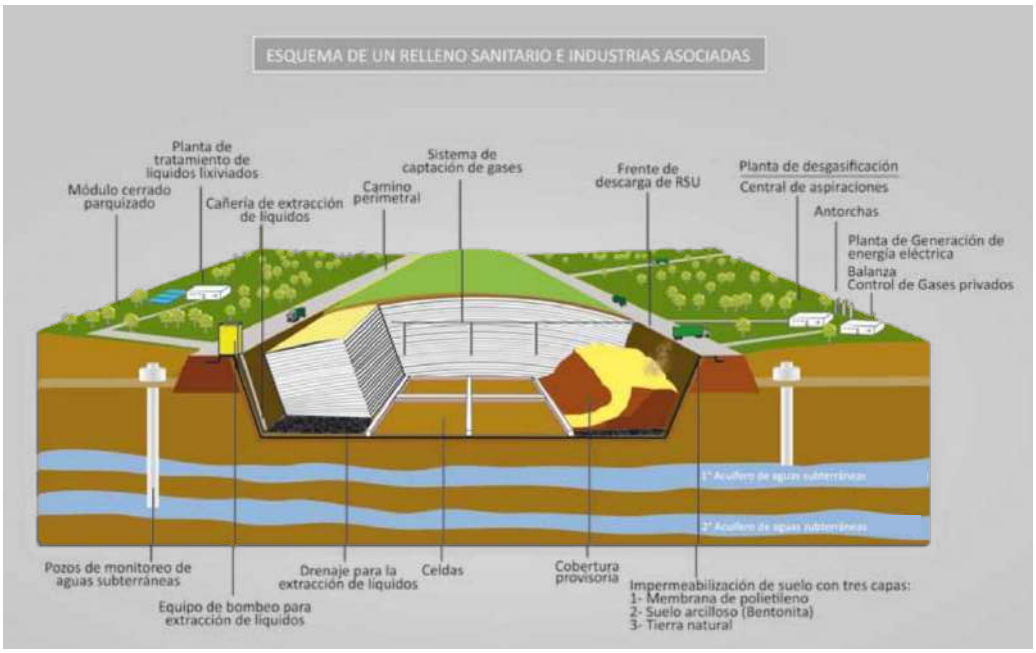


Figura 23. Esquema de un relleno sanitario e industrias asociadas [54].

2.2. Formación y composición de los lixiviados

El lixiviado se puede definir como el líquido que ha percolado a través del residuo sólido y ha extraído materiales disueltos o suspendidos de ellos. En la mayoría de los rellenos sanitarios el lixiviado se compone del líquido producido de la descomposición de los desechos y del líquido que ha entrado al relleno de fuentes externas tales como: drenaje superficial, precipitación, agua subterránea y agua de manantiales subterráneos [55].

Cuando el lixiviado percola a través de los desechos sólidos que están en descomposición, recoge materiales biológicos y componentes químicos. Las características de los lixiviados de un relleno sanitario se describen por medio de los parámetros básicos DQO, DBO, la relación DBO/COD, pH, sólidos en suspensión (SS), nitrógeno amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y metales pesados. La composición de los lixiviados presenta rangos amplios como los presentado en la Tabla 11. Por lo general, suele contener una gran cantidad de materia orgánica soluble o suspendida, nitrógeno amoniacal e iones inorgánicos.

Hay muchos factores que afectan a la cantidad y calidad de los lixiviados: la edad, las precipitaciones, la variación estacional del clima, el tipo y la composición de los desechos (según el nivel de vida de la población circundante, la estructura del relleno, etc.) [56]. A su vez, la

movilización de los componentes depende de su solubilidad química y de la tasa de movimiento del agua a través de los residuos. El pH influye en gran medida en la solubilidad química de ciertos materiales. La solubilidad de muchos metales aumenta a medida que disminuye el pH.

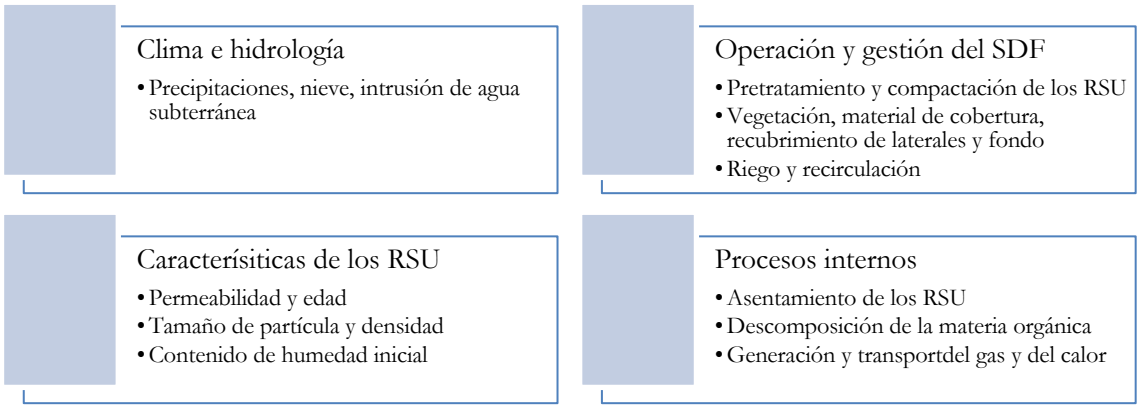


Figura 24. Factores que afectan la formación de lixiviado en un relleno sanitario. Elaboración propia a partir de [55].

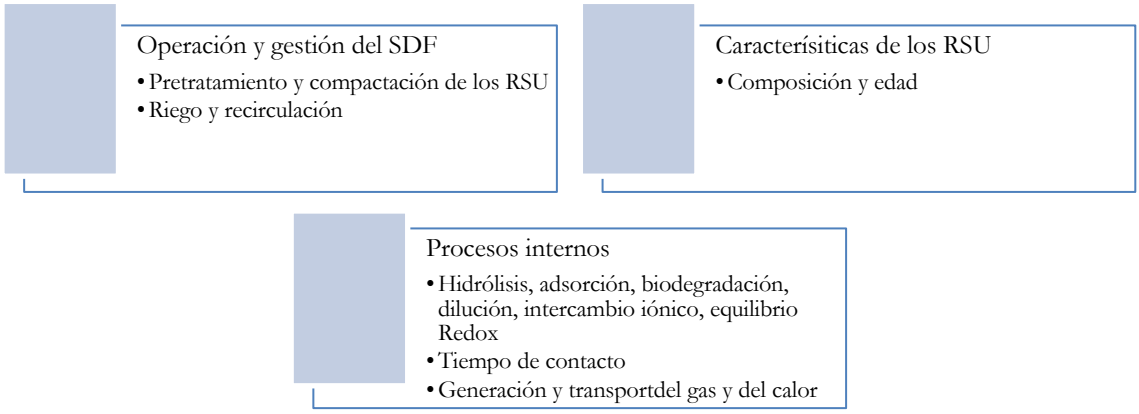


Figura 25. Factores que afectan la composición de lixiviado en un relleno sanitario. Elaboración propia a partir de [55].

Como se observa de la Tabla 11, aunque la composición de los lixiviados puede variar ampliamente dentro de las sucesivas etapas de estabilización aeróbica, acetogénica y metanógena de los RS, se definen principalmente tres tipos de lixiviados según la edad del relleno. La relación existente entre la misma y la composición de la materia orgánica puede proporcionar un criterio útil para elegir un tratamiento adecuado [56]. Cabe resaltar que los lixiviados de los rellenos sanitarios de los países en desarrollo presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados [57].

Tabla 11. Rangos y valores típicos de la composición de lixiviados de rellenos sanitarios según su edad [55].

Parámetro	Valor (mg/l) según edad del Relleno			
	Joven (<5 años)		Intermedio (5-10 años)	Maduro (>10 años)
	Rango	Típico	Rango	Rango
DBO_5(demanda bioquímica de oxígeno, 5)	2.000 – 30.000	1.000	400 – 3000	100 – 200
DQO (demanda química de oxígeno)	3.000 – 45.000	18.000	4.000 – 10.000	100 – 500
Biodegradabilidad (DBO_5/DQO)	>0.3		0,1 – 0,3	<0,1
COT (Carbón orgánico total)	1.500 – 20.000	6.000		80 – 160
Sólidos suspendidos totales	200 – 1.000	500		100 – 400
Nitrógeno orgánico	100 – 600	200		80 – 120
Nitrógeno amoniacal	10 – 800	200		20 – 40
Nitrato	5 – 40	25		5 – 10
Fósforo total	1 – 70	30		5 – 10
Orto-fósforo	1 – 50	20		4 – 8
Alcalinidad como $CaCO_3$	1.000 – 10.000	7.000		200 – 1000
pH	5,3 – 8,5	6	6,5 – 7,5	6,6 – 7,5
Dureza total como $CaCO_3$	300 – 10.000	3.500		200 – 500
Calcio	200 – 3.000	1.000		100 – 400
Magnesio	50 – 1.500	250		50 – 200
Potasio	200 – 2.000	300		50 – 400
Sodio	200 – 2.000	500		100 – 200
Cloruro	100 – 3.000	500		100 – 400
Sulfato	100 – 1.500	300		20 – 50
Hierro total	50 – 600	60		20 – 200

En el caso de los rellenos sanitarios existentes en la Provincia de Buenos Aires y operados por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) los efluentes tienen las características presentadas en la Tabla 12.

Tabla 12. Características de los líquidos lixiviados de rellenos sanitarios operados por CEAMSE en la provincia de Buenos Aires [58] [59] [14] [60] [61]. ND significa no detectados; "-" significa que no hay datos.

PARÁMETRO	Unidad	CEAMSE Norte III	CEAMSE Villa Domínico	CEAMSE Ensenada	CEAMSE G. Catán	CEAMSE Mar del Plata
Estado del relleno	-	Activo	Cerrado	Activo	Activo	Activo
Actividad	-	1994 - presente	1979-2004	1982- presente	-	2012 – presente
Recepción diaria actual	tn/día	18000		1.060	1.500	623
Total RSU dispuestos	10^6 tn	>43	47	-	-	
Caudal de lixiviado	m^3/día	4500	600	200	200	200
pH	upH	7 – 9	7,0 - 8,5	7,0 - 8,5	8,0 – 9,0	6-9 Prom: 8,5
Temperatura	°C	-	-	-	-	13-27 Prom: 21
DQO	mg/l	200 – 22500 Prom: 5200	100 – 7700 Prom: 2800	100 – 14000 Prom: 3.800	4000-7200	6000 – 10000 Prom: 8000
DBO	mg/l	-	-	-	1200-2000	2000 – 4500 Prom: 3000
Conductividad específica	uS/cm	2000 – 50100 Prom: 25000	2200 – 40000 Prom: 19000	1.100 - 40.000 Prom: 22.000	-	40000-50000 Prom: 45000
Nitrógeno NTK	mg/l	100 – 4800 Prom: 2040	137 - 6786 Prom: 1825	17 - 4100 Prom: 1.845	1100-1800	2500 – 3500 Prom: 3200
Nitrógeno amoniacal	mg/l	80%	80%	80%	-	2000 – 3000 Prom: 3000
Nitrógeno orgánico	mg/l	-	-	-	-	200 – 1200 Prom: 500
Fósforo	mg/l	-	-	-	-	60-100 Prom: 80
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	-	-	-	-	6000-13000 Prom: 10000
Plaguicidas	mg/l	ND	ND	ND	-	-
Hidrocarburos totales	mg/l	ND	ND	ND	-	-
Metales: Ca, Hg, Pb y Cr VI	mg/l	ND	ND	ND	-	-
Alcalinidad Total	mgCaCO3/l	7600	-	-	-	-

2.3. Tratamiento de efluentes lixiviados

La adaptabilidad de los procesos unitarios a las fluctuaciones de caudal y carga es un factor crítico en la selección de las tecnologías a emplear en su tratamiento. Es por eso que el tratamiento siempre debe comenzar con un tanque de ecualización para homogeneizar las características del efluente. Además, la selección del proceso es muy específica del lugar, depende de los límites de descarga y de la efectividad del tratamiento.

Entre los tratamientos empleados con los lixiviados se encuentras las tecnologías de tipo convencional y las modernas. A continuación, se hace un resumen de las principales tecnologías disponibles aplicadas a lixiviados.

No se contempla la opción de tratar los lixiviados en una planta de tratamiento de efluentes cloacales municipal ya que la localidad de Necochea no cuenta con dicha planta. Sin embargo, la experiencia muestra que cuando esto es posible, usualmente es una opción eficiente en costos.

2.3.1. Tratamiento biológico

Debido a su confiabilidad, simplicidad y eficiencia económica, el tratamiento biológico (biomasa suspendida o adherida) se utiliza comúnmente para la degradación de los lixiviados que contienen altas concentraciones de DBO. La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, que pueden metabolizar los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua en condiciones aeróbicas y a biogás (una mezcla compuesta principalmente de CO_2 y CH_4) en condiciones anaerobias. Se ha demostrado que los procesos biológicos son muy eficaces para eliminar la materia orgánica y el nitrógeno de los lixiviados jóvenes cuando la relación DBO/COD tiene un valor elevado (>0,5). Con el tiempo, la mayor presencia de compuestos refractarios (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) tiende a limitar la eficacia del proceso.

El pretratamiento es necesario para proteger el proceso biológico de la toxicidad de los metales, la corrosión y la formación de incrustaciones. Los lixiviados suelen tener altas concentraciones de amoníaco y deficiencia de fósforo. El tratamiento biológico es susceptible a cargas abruptas de amoníaco. Cuando esto ocurre, la biomasa puede verse afectada y la nitrificación puede inhibirse. Dependiendo de los requisitos específicos, puede ser necesario un tratamiento posterior para eliminar nitratos, conductividad, etc.

2.3.1.1. Aeróbicos

Los tratamientos aeróbicos deben permitir una disminución parcial de los contaminantes orgánicos biodegradables y deben también lograr la nitrificación del nitrógeno amoniacal. Los procesos biológicos aerobios basados en biomasa de crecimiento suspendido, como las lagunas aireadas, los procesos de lodos activados convencionales y los reactores secuenciales discontinuos (SBR), han sido ampliamente estudiados y adoptados en el tratamiento de lixiviados.

Los sistemas de crecimiento de biomasa adherida han atraído un gran interés, en particular con el reactor de biofilm de lecho móvil (MBBR) y los biofiltros. La combinación de la tecnología de separación de membranas y los biorreactores aeróbicos, más comúnmente llamados biorreactores de membrana (MBR), también ha dado lugar a un nuevo enfoque en el tratamiento de lixiviados [56].

2.3.1.1.1. Biomasa suspendida

Lagunaje

Las lagunas aireadas se han considerado en general como un método eficaz y de bajo costo para eliminar patógenos y materias orgánicas e inorgánicas. Sus bajos costos de operación y mantenimiento las han convertido en una opción popular para el tratamiento de aguas residuales, en particular en los países en desarrollo, ya que hay poca necesidad de conocimientos especializados para hacer funcionar el sistema [56].

Las lagunas aireadas son un sistema de tratamiento de lixiviados relativamente sencillo. La idea básica es que el tiempo de retención del lixiviado es lo suficientemente largo como para que se puedan desarrollar tantas bacterias por tiempo como el número que ha sido transportado fuera de la laguna con el efluente. Los largos tiempos de retención también son necesarios para oxidar la nitrificación del amoníaco, especialmente durante las bajas temperaturas. Los costos de mantenimiento y operación son relativamente bajos. Los tiempos de detención que son necesarios están en el rango de 50 - 100 días [62].

En la literatura se han examinado amplias variaciones en el rendimiento estándar de los sistemas de lagunas (Tabla 7). Maehlum ([63] citado en [56]) utilizó lagunas anaeróbicas-aeróbicas in situ y construyó humedales para el tratamiento biológico de lixiviados de rellenos. En general, las remociones de N, P y Fe obtenidas en este sistema fueron superiores al 70% para el lixiviado diluido.

Sin embargo, a medida que se imponen requisitos más estrictos, el lagunaje puede no ser una opción de tratamiento completamente satisfactoria para el lixiviado a pesar de sus menores costos ([64] citado en [56]). En particular, los autores afirmaron que la dependencia de la temperatura de la laguna es una limitación importante porque afecta principalmente a la actividad microbiana.

Lodos Activados

Se aplican extensamente para el tratamiento de efluentes cloacales o para el cotratamiento de los mismos junto a lixiviados. Sin embargo, en las últimas décadas se ha demostrado que los barros activados son un método poco adecuado para el tratamiento de lixiviados de rellenos [69]. Incluso si se demostrara que los procesos son eficaces para la eliminación del carbono orgánico, los nutrientes y el contenido de amoníaco, demasiadas desventajas tienden a centrarse en otras tecnologías:

- la sedimentación inestable de los lodos y la necesidad de tiempos de aireación más largos ([65] citado en [56]),
- la alta demanda de energía y el exceso de producción de lodo ([66] citado en [56]),
- inhibición microbiana debido a un alto nivel de nitrógeno amoniacal ([67] citado en [56]).

Se dispone de pocos trabajos relativos al tratamiento de lixiviados mediante tecnología de lodos activados. Hoilijoki y otros [37] investigaron la nitrificación de lixiviados de rellenos sanitarios pretratados anaeróbicamente en un reactor de lodos activados a escala de laboratorio, a diferentes temperaturas (5-10ºC) y con la adición de material de soporte. El postratamiento aeróbico produjo efluentes con 150-500 mg DQO/L, menos de 7 mg DBO/l y, en promedio, menos de 13 mg/l de amonio. La adición de carbón activado granular a los reactores de lodo activado mejoró la eficiencia de la nitrificación en el tratamiento biológico del lixiviado [91].

En Argentina, existen plantas de tratamiento de efluentes lixiviados que emplean esta tecnología de lodos activados. Los procesos involucrados y parámetros de diseño disponibles se presentan en la sección 2.6.3 Plantas de tratamiento de lixiviados en Argentina.

SBR

El reactor de secuenciación por lotes, SBR por sus siglas en inglés (Sequencing Batch Reactor) concierne a un proceso de barros activados de depuración aeróbica, en el que el tratamiento se realiza, por etapas, en un único reactor. El líquido a tratar se carga en el tanque,

se airea y mezcla durante un periodo controlado, se sedimenta y, finalmente, se extrae la fase líquida tratada. Es un sistema es ideal para los procesos de nitrificación-desnitrificación ya que proporciona un régimen de operación compatible con la oxidación de carbono y nitrificación ([68] citado en [56]). Las características del proceso dieron lugar a una amplia aplicación para el tratamiento de los lixiviados de vertedero. Algunos autores han informado hasta un 75% de eficiencia para la remoción de DQO. Un 99% de remoción de nitrógeno amoniacal ha sido observado por Lo ([69] citado en [56]) durante el tratamiento aeróbico de lixiviados en un SBR con un tiempo de residencia de 20-40 días. La mayor flexibilidad del proceso del SBR es particularmente importante cuando se considera el tratamiento de los lixiviados de vertedero, que tienen un alto grado de variabilidad en calidad y cantidad [56].

No hay experiencia en Argentina del uso de la tecnología de SBR para el tratamiento de lixiviados.

2.3.1.1.2. Biomasa adherida

Debido a los principales problemas de *bulking* de los lodos en los sistemas aeróbicos convencionales, se han desarrollado varios procesos aeróbicos innovadores, llamados sistemas de biomasa adherida, que crecen formando un biofilm o biopelícula sobre alguna matriz inerte de soporte. Estos sistemas presentan la ventaja de no sufrir la pérdida constante de biomasa activa. reduciendo la cantidad de lodos en exceso. Además, la nitrificación se ve menos afectada por las bajas temperaturas que en los sistemas de crecimiento suspendido, y por la inhibición debida al alto contenido de nitrógeno. Entre ellos se destacan los lechos percoladores y los sistemas de MBBR.

Lechos percoladores

Este método ha sido investigado para la remoción biológica de nitrógeno de los lixiviados de los rellenos municipales. Los biofiltros siguen siendo una opción interesante y atractiva para la nitrificación debido a los materiales de rellenos de bajo costo ([70] citado en [56]). Las eficiencias típicas de los biofiltros, encontradas en la literatura, varían entre 50% y 95% para remoción de DQO y entre 85-99% para nitrógeno amoniacal.

MBBR

Los reactores de biofilm de lecho móvil, o MBBR por sus siglas en inglés (Moving Bed Biofilm Reactor), tienen la particularidad de que al reactor aerobio se le adiciona material de soporte poliméricos porosos de gran superficie específica (carriers) que se mantienen en continuo movimiento gracias a la aireación. En estos carriers se generan colonias de microorganismos que realizan la degradación de la materia orgánica en conjunto con los microorganismos libres que se encuentran en el medio líquido.

Algunas ventajas de este sistema en comparación con lodos activados convencional son: mayores concentraciones de biomasa, ausencia de largos periodos de sedimentación de lodos, menor sensibilidad a los compuestos tóxicos y eliminación tanto orgánica como de nitrógeno amoniacal en un único proceso. Las eficiencias relevadas para tratamiento de lixiviados se encuentran en el rango de 60-80% para DQO y 85-90% para nitrógeno [56].

No hay experiencia en Argentina del uso de la tecnología de biomasa adherida para el tratamiento de lixiviados.

2.3.1.2. Anaeróbicos

Los tratamientos anaeróbicos son adecuados para tratar efluentes de alta carga orgánica, como los lixiviados generados en rellenos jóvenes. A diferencia de los procesos aeróbicos, la digestión anaeróbica consume poca o ninguna energía y produce muy pocos sólidos, pero sufre de bajas tasas de reacción [56]. Además, es posible utilizar el CH_4 producido para calentar el digestor, que suele funcionar a 35ºC y, en condiciones favorables, para fines externos. El proceso es muy sensible a las variaciones en las condiciones ambientales [56].

Durante el período de altas concentraciones orgánicas en los lixiviados de la fase acidógena, una etapa de tratamiento anaeróbico podría ser una forma de reducir las principales fracciones de los orgánicos degradables. Sin embargo, el tratamiento anaeróbico del lixiviado no es capaz de lograr eficiencias tales que permitan un vuelco directo. La carga orgánica remanente suele tener valores superiores a los 4.000 mg/l y una relación de biodegradabilidad $DBO_5/DQO>0,3$. Después de la etapa de tratamiento anaeróbico, el lixiviado tiene que ser tratado hasta parámetros de vuelco mediante procesos aeróbicos [62].

Dentro de las tecnologías usadas se encuentran las lagunas anaerobias y reactores anaerobios de alta tasa, como los reactores de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB), donde la literatura reporta eficiencias de eliminación en términos de DQO entre el 60% y 90% [56] [57].

Durante las investigaciones y en condiciones operacionales, los filtros anaeróbicos se obstruyen a veces debido a la precipitación de hierro y calcio. En un caso, el volumen libre de los reactores fue consumido hasta el 60% por los precipitados después de una reducción de la DQO de 2.000-3.000 kg/m^3. En los reactores UASB, el contenido inorgánico de los lodos aumenta drásticamente con el tiempo y reduce las tasas de eliminación. [62].

Sólo con la condición de que los grandes rellenos funcionen durante largos períodos de tiempo se puede considerar la posibilidad de aplicar un tratamiento anaeróbico. En general, los autores no recomiendan el tratamiento anaerobio debido a que la calidad del lixiviado (especialmente la DBO) cambia después de algunos años, cuando comienza la fase metanogénica. Cuando las concentraciones de DBO_5 son < 2.000 - 5.000 mg/l los procesos anaeróbicos no son factibles [62]. Otra restricción a su uso es la inhibición que puede sufrir el proceso anaeróbico en grandes concentraciones de amonio [56].

En Argentina, existen plantas de tratamiento de efluentes lixiviados que emplean lagunas anaeróbicas. Los procesos involucrados y parámetros de diseño disponibles se presentan en la sección 2.6.3 Plantas de tratamiento de lixiviados en Argentina.

2.3.2. Tratamiento fisicoquímico

Los procesos físicos y químicos incluyen la reducción de los sólidos suspendidos, las partículas coloidales, el material flotante, el color y los compuestos tóxicos por coagulación/floculación, adsorción, oxidación química y stripping del aire. Los tratamientos fisicoquímicos para lixiviados se utilizan como pretratamiento o bien como un pulido terciario para tratar un contaminante específico (ej. stripping para amoníaco) [56].

Coagulación-floculación

La coagulación y la floculación pueden utilizarse para tratar lixiviados de rellenos estabilizados y antiguos. Se utiliza ampliamente como pretratamiento, antes de un tratamiento

secundario u ósmosis inversa, o como última etapa en el pulido para eliminar la materia orgánica no biodegradable. El sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico y el clorosulfato férrico se utilizan comúnmente como coagulantes [56]. En base a la comparación de los estudios presentados en la Tabla 13, las sales de hierro son más eficientes que las de aluminio, con reducciones en DQO de hasta el 50% [71].

Sin embargo, este tratamiento presenta algunas desventajas: se produce un volumen de lodo consistente y se puede observar un aumento en la concentración de aluminio o hierro en la fase líquida [56].

Tabla 13. Resumen de experiencias para la coagulación y floculación en lixiviados de rellenos sanitarios [71].

Ubicación Relleno	Coagulante	Dosis	Inicial	Efluente	Eficiencia de Remoción (%)	Referencia
Francia	$FeCl_3$	0,035	3800	1700	55	[72]
	$Al_2(SO_4)_3$	0,035		2200	42	
Grecia	$FeCl_3$	1,5	5350	1338	75	[73]
	$Al_2(SO_4)_3$	0,5		2354	56	
Grecia	$FeCl_3$	5,5	70900	49630	30	[73]
	$Al_2(SO_4)_3$	1,5		43958	38	
Méjico	Policloruro de Aluminio (PAC)	1,25	4580	1924	58	[74]
	$Fe_2(SO_4)_3$	2,4		1511	67	

Precipitación química

La precipitación química se utiliza ampliamente como pretratamiento para eliminar el nitrógeno amoniacal de alta carga (-N-NH_4). En un estudio, Li y otros [75] confirmaron que el rendimiento de un proceso de lodo activado convencional podría verse significativamente afectado por una alta concentración de amonio. La eliminación de DQO disminuyó del 95 al 79%, cuando la concentración de nitrógeno amoniacal aumentó de 50 a 800 mg/L.

2.3.3. Síntesis de tecnologías convencionales

Durante muchos años, los tratamientos biológicos y fisicoquímicos convencionales se han considerado las tecnologías más adecuadas para la depuración de efluentes de alta concentración, como los lixiviados de rellenos sanitarios. En los rellenos jóvenes, los tratamientos biológicos proporcionan eficiencias de eliminación razonables para la DQO, el NH3-N y los metales pesados. En el caso de los lixiviados procedentes de rellenos estabilizados (menos biodegradables), los tratamientos fisicoquímicos han demostrado ser adecuados como tratamiento terciario de los lixiviados tratados biológicamente para eliminar las sustancias orgánicas refractarias. Los procesos químico-físico-biológicos integrados (en cualquier orden) mejoran las desventajas de los procesos individuales, contribuyendo así a una mayor eficiencia global del tratamiento [56].

Sin embargo, debido a una normativa de vuelco cada vez más estricta y al envejecimiento de los rellenos con lixiviados cada vez más recalcitrantes, los tratamientos convencionales pueden no ser suficientes para alcanzar el nivel de depuración necesario para reducir totalmente el impacto negativo de los lixiviados en el medio ambiente. Por eso, en los últimos 20 años, los tratamientos más eficaces basados en la tecnología de membranas han surgido como una alternativa de tratamiento viable para cumplir las normas de calidad del agua vigentes en la mayoría de los países.

2.3.4. Tecnologías de Membranas

La tecnología de membranas para el tratamiento de efluentes es una tecnología relativamente nueva que ha sufrido un rápido desarrollo en las últimas décadas. La cantidad y variedad de aplicaciones ha incrementado exponencialmente, incluso abarcando el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Con variaciones en el grado de filtración, las tecnologías disponibles agrupan a la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa. Estas pueden emplearse de manera directa o estar acopladas a otro tipo de proceso de tratamiento [76].

La microfiltración y la ultrafiltración se han acoplado a procesos biológicos aeróbicos, en reemplazo de los sedimentadores, dando lugar a sistemas MBR. Por otro lado, existen aplicaciones en serie de los procesos de ósmosis inversa con procesos de precipitación-cristalización y nanofiltración para la eliminación de sustancias precipitables de los lixiviados con alto contenido de sólidos inorgánicos disueltos. A continuación, se hará una breve reseña de estos procesos [76].

Micro, ultra y nano filtración (MF, UF y NF)

La principal diferencia entre la microfiltración, la nanofiltración y la ultrafiltración es el tamaño de los poros de la membrana. Con cada proceso de filtración diferente, ciertos elementos quedan retenidos y otros logran pasar a través de la membrana [77]. En la Figura 26 se muestran los distintos grados de filtración por proceso.

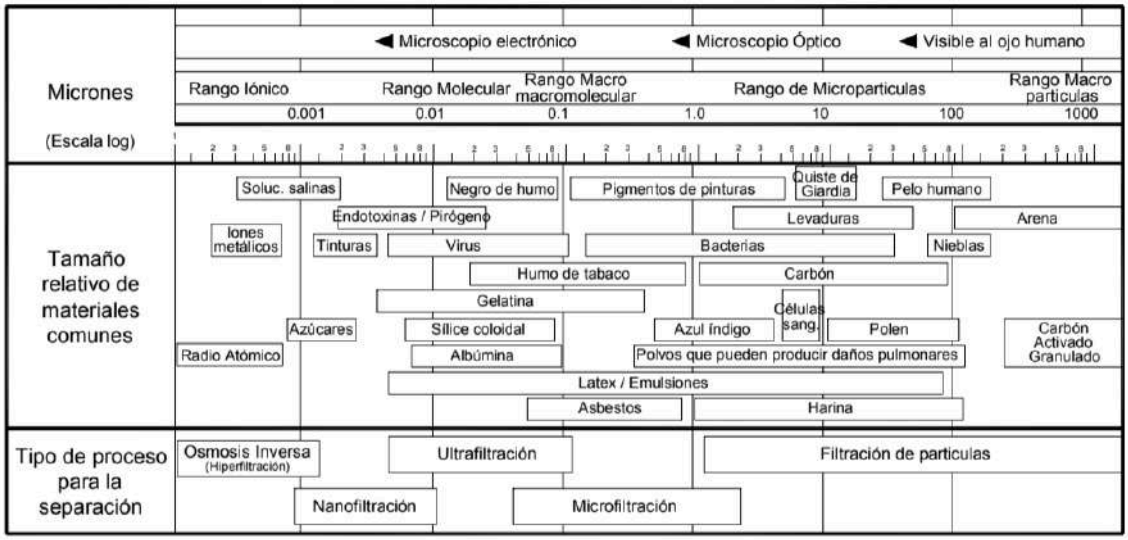


Figura 26. Operaciones básicas con membranas en el tratamiento de agua [77].

La microfiltración (MF) se aplica cada vez que se requiere un método eficaz para eliminar las bacterias y sólidos en suspensión. El valor típico del poro es de 0,1-0,2 μm y la presión de trabajo suele ser de 50 a 500 kPa. Se suele emplear como pretratamientos para otras filtraciones (UF, NF, RO), en reactores MBR o junto a otros tratamientos químicos [77].

La ultrafiltración (UF) es eficaz para eliminar solutos de elevado peso molecular (macromoléculas) además de todo tipo de microorganismos, tales como virus y bacterias, pero

depende mucho del tipo de material que constituye la membrana. La ultrafiltración puede emplearse para reemplazar a la clarificación y la desinfección. La presión de trabajo es similar a la de la MF [77].

La tecnología de nanofiltración (NF) permite cumplir varios objetivos de calidad del agua, como el control de los contaminantes orgánicos, inorgánicos (iones polivalentes como calcio y magnesio) y microbianos. Las presiones de trabajo son mayores s UF, normalmente entre 0,5 a 1,5 MPa [77].

Para garantizar la aplicación exitosa de la tecnología de membranas se requiere un control eficiente del ensuciamiento (fouling) de las membranas. Un amplio espectro de componentes puede contribuir al fouling de la membrana en la NF de lixiviados: sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas, coloidales y sólidos suspendidos [56].

Reactores de membrana (MBR)

La combinación de la tecnología de separación por membrana y los biorreactores ha llevado a un nuevo enfoque en el tratamiento de aguas residuales. Los biorreactores de membrana (MBR) son sistemas muy compactos que trabajan con una alta concentración de biomasa y logran una baja producción de lodo con una excelente calidad de efluente, apta para reúso (riego, lavado de camiones, descarga de inodoros, etc.). Los MBR se han aplicado ampliamente a gran escala en el tratamiento de efluentes industriales y algunas plantas se han adaptado al tratamiento de lixiviados [56].

La tecnología MBR se basa en la combinación del tratamiento convencional de lodos activados junto con un proceso de filtración a través de una membrana con un tamaño de poro de entre 10 nm y 0,4 micrones (micro/ultrafiltración), que permite la separación de los lodos. La membrana actúa como una barrera que retiene todas las partículas, coloides, y bacterias (no así de virus), proporcionando una desinfección parcial del agua tratada. Además, puede funcionar a concentraciones más altas de biomasa (hasta 12 g/l en lugar de los 4 g/l habituales en los sistemas convencionales), lo que reduce considerablemente el volumen de los reactores y la producción de lodo [78] [79].

Los MBR son capaces de lograr aguas tratadas de elevada pureza en lo que refiere a compuestos disueltos como materia orgánica y amoníaco, que son eliminados durante el tratamiento biológico [65]. La tecnología MBR produce menos lodos que un sistema de biomasa en suspensión convencional, exige una estructura más compacta al emplear una alta concentración de biomasa, y es una tecnología versátil que puede tratar tanto los lixiviados de rellenos viejos como los jóvenes. En contraparte, el ensuciamiento (fouling) de la membrana se considera el principal inconveniente, debido a la interacción entre la membrana y los agentes de fouling (aceites y grasas e incrustaciones de carbonatos, entre otros), lo que lleva al deterioro de la eficiencia de la membrana. Para alargar la vida útil de las membranas, que normalmente oscila entre 7 a 10 años, es preciso contemplar un pretratamiento que elimine o reduzca la concentración de los agentes de fouling. Para mantener el rendimiento de las membranas es suficiente llevar a cabo limpiezas químicas in-situ, denominadas CIP (Clean-In-Place). Estas limpiezas son realizadas con ácidos, ya sea hipoclorito de sodio para eliminar el biofilm formado sobre la membrana o con ácido cítrico o clorhídrico para eliminar incrustaciones inorgánicas. La frecuencia de dichas limpiezas, tomando como referencia agua residual doméstica, es de 3-6 meses. En la práctica, la necesidad de una limpieza viene determinada mediante la medición de la presión transmembrana (PTM). Cuando se observa un incremento de la PTM de 5 a 10 kPa con respecto al valor inicial, se recomienza realizar un CIP.

Aunque hay dos configuraciones principales de proceso de los MBR, inmersa (iMBR) y de corriente lateral -o sidestream- (sMBR), la configuración inmersa es la más utilizada en el tratamiento de efluentes debido a los menores costos de operación asociados. En esta configuración, el módulo se coloca directamente en el tanque de proceso y, por lo tanto, requiere menos energía para realizar el permeado: sólo es necesario crear un pequeño vacío en el interior del módulo de membrana, medido como PTM, para la filtración. Para la configuración sumergida, hay dos tipos de módulos de membrana comerciales disponibles: laminar, comercializada principalmente por Kubota, y de fibra hueca como las suministradas por GE Zenon o Mitsubishi Rayon. Las membranas de fibra hueca permiten una mayor densidad de filtrado ya que tiene un espacio más delgado entre las membranas en comparación con las laminares. Sin embargo, esto las hace más susceptible a la obstrucción de las membranas y/o al lodo, y también puede hacer que la limpieza sea más difícil. En lo que respecta al material de la membrana utilizado para un iMBR, los polímeros fluorados y sulfonados dominan en los productos comerciales de MBR de membrana [78].

Ósmosis Inversa (OI)

La ósmosis inversa es un proceso que consiste en la aplicación de una presión, cuyo valor está por encima de la presión osmótica de la solución salina, a una solución concentrada, de tal modo que se fuerza el pasaje del solvente a través de una membrana semipermeable, capaz de retener sales y solutos de bajo peso molecular. La ósmosis inversa es capaz de rechazar contaminantes o partículas, con diámetros del orden de los 0,0001 μm, por lo cual puede lograrse la remoción de sales, dureza, patógenos, turbiedad, retención de subproductos de la desinfección y precursores de trihalometanos (THMs), compuestos orgánicos sintéticos, plaguicidas y la mayoría de los contaminantes más comúnmente encontrados en el agua potable.

En lo referente a aplicaciones con lixiviados, en general, la tecnología es muy eficaz para eliminar la mayoría de los contaminantes. Es preciso reparar en que la mayoría de las aplicaciones directas se han realizado sobre lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, inferiores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados antiguos o pretratados [76].

2.4. Plantas de tratamiento de lixiviados en Argentina

La experiencia en tratamiento de efluentes lixiviados en Argentina se concentra principalmente en las plantas operadas por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) en la Provincia de Buenos Aires. Los complejos ambientales que cuentas con plantas de tratamiento son Norte III en José León Suárez, Ensenada, González Catán, Villa Domínico y Mar del Plata. A continuación, se describe el tren de tratamiento de cada

2.4.1. Norte III, José León Suárez, Buenos Aires

El Complejo Ambiental Norte III recibe un promedio de 16100 tn/día que provienen de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de otros 37 municipios del área metropolitana. En total, recibe los RSU de 13.000.000 habitantes.

El predio cuenta con unas 500 ha y tiene 3 plantas de tratamiento de lixiviados. La más grande trata 2000 m3/día, siendo una de las plantas de lixiviados más grandes del mundo.

El sistema de tratamiento instalado está compuesto por una primera etapa integrada por laguna de acopio de ecualización de flujo y calidad, luego laguna anaerobia, seguido de un sistema aeróbico de barros activados con aireación extendida, sedimentador secundario, ultra y nanofiltración, cloración y el correspondiente acondicionamiento de los barros producidos en el sistema.

Algunas características del líquido lixiviado del complejo se presentan en la Tabla 12.

Figura 27. Circuito de tratamiento de los efluentes lixiviados en el Complejo Ambiental Norte III [80].

2.4.2. Villa Domínico, Buenos Aires [59] [81]

El relleno sanitario de Villa Domínico fue creado por la CEAMSE en 1979 y por 25 años recibió residuos de la Ciudad de Buenos Aires y de ocho municipios de la zona sur del conurbano. El predio consta de 500 hectáreas situadas en Avellaneda y Quilmes, contiguo a las costas del Río de la Plata y a la autopista Buenos Aires-La Plata.

El complejo no recibe más residuos desde 2004. El total de RSU recibidos durante su operación fue de 47.000.000 de toneladas, los cuales por momentos llegaron a formar montañas de 24 metros de altura. Además, sumó denuncias de muertes por causa dudosa y por daño ambiental. Según el organismo, el plan de monitoreo ambiental (del agua, suelo y aire), que se realiza desde que se abrió el basural sigue vigente, y lo seguirá hasta el año 2034, cumpliendo las obligaciones de post cierre del predio [81].

Algunas características del líquido lixiviado del complejo se presentan en la Tabla 12 [59]. La planta de tratamiento de lixiviados del predio cuenta con los mismos procesos y tecnologías que la planta de Norte III.

2.4.3. Ensenada, Buenos Aires [60]

El relleno ubicado en Ensenada recibe un promedio de 1.100 tn/día provenientes de 5 municipios: Berisso, Brandsen, Ensenada, La Plata y Magdalena (850.000 habitantes). El predio consta de 121,40 ha y una planta de líquidos lixiviados con capacidad de 6.000 m3/mes, o 200 m3/día.

Algunas características del líquido lixiviado del complejo se presentan en la Tabla 12. La planta de tratamiento cuenta con una laguna anóxica-óxica para la remoción de nitrógeno [82].

2.4.4. González Catán, Buenos Aires [61]

El Complejo Ambiental González Catán recibe un promedio de 1.500 tn/día pertenecientes al municipio de La Matanza, con 1.800.000 habitantes. El predio tiene 191 ha y su plata de lixiviados trata 500 m3/día.

La planta de tratamiento de líquido lixiviado está compuesta por las siguientes etapas y servicios auxiliare [61]:

a) Playa de descarga
b) Reja de desbaste
c) Desarenador
d) Pozo de bombeo
e) Caudalímetro de ingreso
f) Tratamiento Anaeróbico
g) Tratamiento Aeróbico
h) Tratamiento Fisicoquímico
i) Playa y deshidratación de lodos
j) Acopio final y Caudalímetro de salida
k) Laboratorio de análisis

El tratamiento anaeróbico está compuesto por tres lagunas anaeróbicas, denominadas compensadora, intermedia y final, con un volumen de 5.600 m3, 30.900 m3 y 28.800 m3, respectivamente. El tiempo de permanencia, para un caudal mensual de 15.000 m3, es de 4,3 meses. El pasaje de líquidos entre la compensadora e intermedia es mediante bombeo y, entre la intermedia y la final, es por gravedad [61].

El tratamiento aeróbico se alimenta en forma continua desde la laguna anaeróbica final mediante dos bombas centrífugas de capacidad 30 m3/h a una presión de 10 mca. La etapa aeróbica consta de cinco reactores aeróbicos de 780 m3 de volumen útil cada uno. Estos están equipados con aireadores sumergibles, a razón de dos equipos por tanque. Los 5 reactores trabajan en paralelo y descargan por gravedad en el sedimentador secundario. Este sedimentador consta de un puente barredor que arrastra los lodos hacia el pozo central desde donde el lodo activado sedimentado retorna a los reactores por bombeo. Estas dos (2) bombas también se encargan de enviar los lodos descartados a la laguna compensadora, para su aprovechamiento como nutrientes y disminuir el volumen total de lodos. El caudal de estas bombas permite variar el retorno de lodos entre un 50% y un 150% del caudal de ingreso al sistema aeróbico [61].

La espuma y el sobrenadante que se separan en el sedimentador secundario son arrastrados por los barredores superficiales hacia la caja colectora desde donde caen a una cámara donde se almacenan para ser derivados al módulo de residuos sólidos [61].

El líquido clarificado que sale del sedimentador secundario descarga en un pozo, desde donde es enviado a los reactores fisicoquímicos 1 y 2 [61].

El tratamiento fisicoquímico consta de dos reactores encaladores de 540 m3 cada uno y un tanque para la lechada de cal. Estos trabajan en forma alternativa según un diagrama de tiempos establecido que consta de los siguientes pasos: llenado, agregado de Lechada de cal, agitación y reacción, floculación y sedimentación, vaciado [61].

En las piletas de caracterización se termina de acondicionar el líquido para su vuelco final mediante el agregado de hipoclorito de sodio de 120 gCl/lt y de dióxido de carbono hasta un pH entre 8,5 y 9,5 upH [61].

2.4.5. Mar del Plata, Buenos Aires [15]

El relleno de la ciudad de Mar del Plata recibe un promedio de 1100 tn de RSU al día provenientes de General Pueyrredón y Batán, lo que equivale a 650.300 habitantes.

El predio tiene una superficie 60 ha y cuenta con una planta de tratamiento de lixiviados de 300 m3 diarios. El sistema de tratamiento de lixiviados es similar al de Norte III (Figura 28).

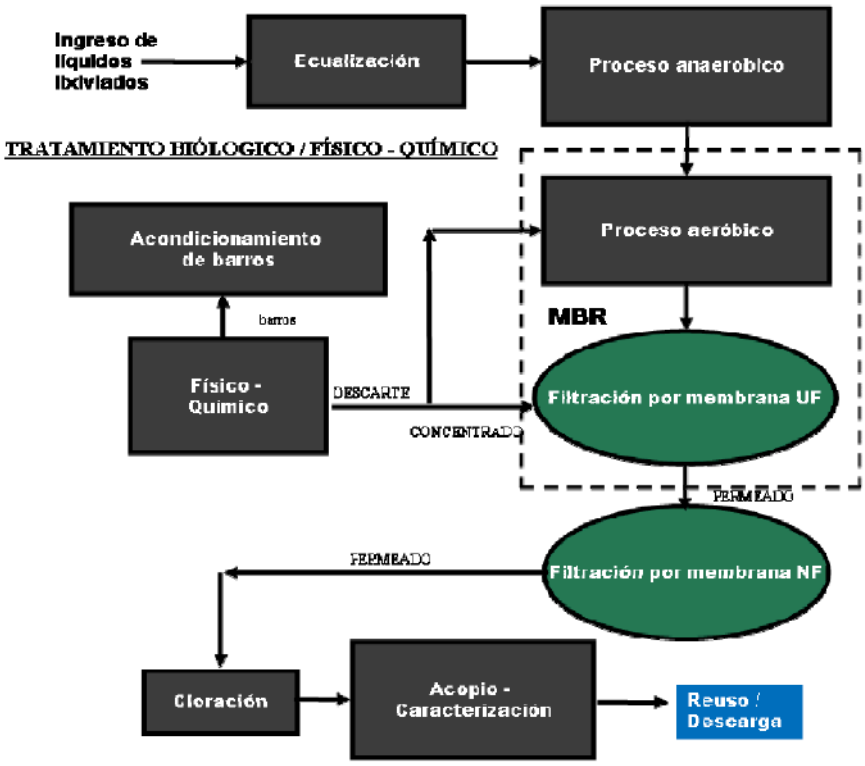


Figura 28. Diagrama de bloques con los procesos de tratamiento de la planta de lixiviados del complejo ambiental de Mar del Plata [14].

CAPÍTULO 3. Condiciones de diseño

Frente a la falta de registros sobre lixiviados del predio actual, en el presente capítulo se realizan las estimaciones de caudal y la carga contaminante a remover en la planta de tratamiento.

3.1. Estimación de caudal de lixiviados

3.1.1. Balance hídrico del relleno

Para estimar el volumen de formación de lixiviados que dictará el caudal de diseño de la planta se procede a realizar un balance hídrico del relleno sanitario proyectado.

Los componentes que conforman el balance de agua para una celda de relleno sanitario se ilustran en la Figura 29. Como se muestra en la figura, los principales componentes que intervienen en el balance hídrico son:

1) Ingresos (positivos): el agua que entra en la celda desde arriba (de lluvia o el lixiviado de la celda superior), la humedad de los residuos sólidos, la humedad del material de cubierta,

2) Egresos (negativos): el agua que sale de la celda como parte del gas, como vapor de agua saturado en el gas y como lixiviado.

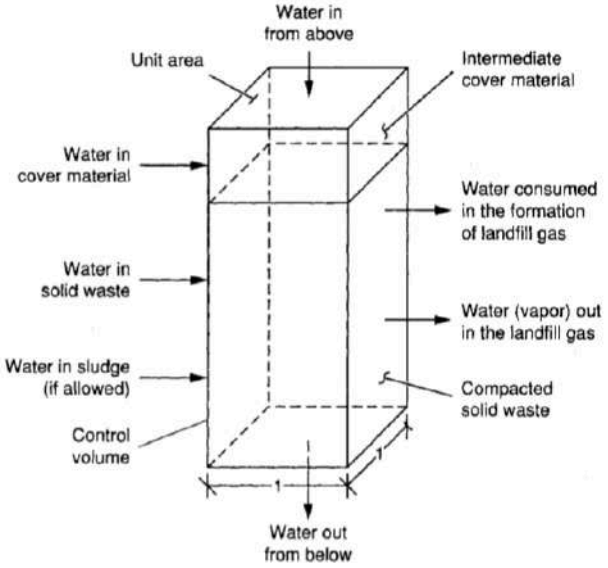


Figura 29. Esquema del balance hídrico en un nivel del relleno utilizado para estimar la formación de lixiviado.

Existen otros métodos de estimación simplificada de lixiviados que solo tiene en cuenta la generación por medio de un porcentaje de la precipitación anual [83]. En este caso se seguirá la metodología ampliada por Tchobanoglous (1994), teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\Delta S_{RS} = W_{RS} + W_{MCob} + W_{A(Prec)} - W_{PGas} - W_{Vap} - W_{Evap} - W_{Lix}$$

(Ec. 1)

Donde:

ΔS_{RS} = cambio en la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos, kg/m^3

W_{RS} = agua (humedad) en los residuos sólidos ingresantes, kg/m^3

W_{MCob} = agua (humedad) en el material de cubierta, kg/m^3

$W_{A(Prec)}$ = agua de nivel superior (de la celda superior o de agua de lluvia), kg/m^2

W_{PGas} = agua perdida en la formación de gas, kg/m^3

W_{Vap} = agua perdida como vapor de agua saturado con gas de vertedero, kg/m^3

W_{Evap} = agua perdida debido a la evaporación de la superficie, kg/m^2

W_{Lix} = agua que sale del fondo del elemento (para la celda situada directamente sobre la red de drenaje, el agua del fondo corresponde a los lixiviados), kg/m^3

El agua en los residuos sólidos. El agua que ingresa en el relleno con los residuos corresponde a la humedad contenida en los mismos junto con la humedad que ha sido absorbida de la atmósfera o de las precipitaciones cuando los contenedores de almacenamiento no están sellados adecuadamente. En los climas secos, parte de la humedad inherente contenida en los desechos puede perderse, dependiendo de las condiciones de almacenamiento. El contenido de humedad de los desechos sólidos urbanos residenciales y comerciales varía entre el 15 y el 35%, según la estación.

El agua en el material de cobertura. La cantidad de agua que entra con el material de cubierta dependerá del tipo y la fuente del material de cubierta y de la estación del año. La cantidad máxima de humedad que puede contener el material de cubierta está definida por la capacidad de campo (FC) del material. La capacidad de campo se define como el líquido que permanece en los poros. Los valores típicos de los suelos oscilan entre 6 y 12% para la arena y entre el 23 y el 31 por ciento para los limos arcillosos.

El agua del nivel superior. Para la capa superior del vertedero, el agua del nivel superior corresponde a la precipitación que se ha filtrado a través del material de cobertura. Para las capas inferiores a la capa superior, el agua de arriba corresponde al agua que se ha filtrado a través de los residuos sólidos de la capa en cuestión. En los rellenos con recirculación de lixiviados, el agua de arriba también incluirá el lixiviado recirculado. Uno de los aspectos más críticos en la preparación de un balance hídrico para un relleno es determinar la cantidad de lluvia que realmente se filtra a través de la capa de cobertura del vertedero. Cuando no se utiliza una geomembrana, la cantidad de precipitación que se filtra a través de la capa de cobertura puede determinarse utilizando un método simplificado de Fenn (1975) para estimar la cantidad de percolación que puede esperarse. La versión más completa del modelo ha sido desarrollada por la US-EPA en su programa HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance).

El balance hídrico estándar, desarrollado por Fenn, viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta S_{MC} = P - Es - ET - I$$

(Ec. 2)

Donde:

ΔS_{MC} = cambio en la cantidad de agua almacenada en un volumen unitario de cubierta de vertedero, mm

P = cantidad de precipitación por unidad de superficie, mm

Es = cantidad de escorrentía por unidad de superficie, mm

ET = cantidad de agua perdida por evapotranspiración por unidad de área, mm

I = cantidad de agua que se infiltra a través de la unidad de cobertura del vertedero en los residuos sólidos compactados, mm

Agua perdida en la formación del gas de relleno. El agua se consume durante la descomposición anaeróbica de los compuestos orgánicos en los RSU. Asumiendo que los principales gases producidos son metano, dióxido de carbono, y amonio, la cantidad de agua consumida por la reacción de descomposición puede estimarse utilizando la Ec. (3). La cantidad de agua consumida por m^3 de gas producido está típicamente en el rango de 0,1 a 0,2 kg.

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c+3d}{4}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{4a+b-2c-3d}{4}\right)CH_4 + \left(\frac{4a-b+2c-3d}{4}\right)CO_2 + dNH3$$

(Ec. 3)

Un punto importante a destacar es que la reacción dada por la Ec. (3) requiere la presencia de agua. De lo contrario, la descomposición que produce gas se detiene. La tasa y el período de tiempo en que se produce ese gas variará considerablemente según las condiciones hidrológicas locales y los procedimientos operativos de los vertederos.

Agua perdida como vapor de agua. El gas de los rellenos suele estar saturado en vapor de agua. La cantidad de vapor de agua que escapa del vertedero se determina asumiendo que el gas del vertedero está saturado de vapor de agua. El valor numérico de la masa de vapor de agua contenida por pie cúbico de gas de vertedero es de aproximadamente 0,016 kg de $H2O/m^3$ de gas de vertedero.

Agua perdida debido a la evaporación. Habrá alguna pérdida de humedad por evaporación cuando los residuos se depositen en el vertedero. Las cantidades no son grandes y a menudo se ignoran. La decisión de incluir estas variables en el análisis del balance hídrico dependerá de las condiciones locales.

Agua que egresa por el fondo del elemento. El agua que sale del fondo de la primera celda del relleno se denomina lixiviado. Como se ha señalado anteriormente, el agua que sale del fondo de la segunda y subsiguientes celdas corresponde al agua que entra desde arriba para la celda que está debajo de la celda en cuestión.

Capacidad de campo de los desechos sólidos. El agua que entra en el relleno que no se consume y no sale como vapor de agua puede mantenerse dentro del relleno o puede egresar como lixiviado. Tanto los residuos como el material de cobertura son capaces de retener el agua contra la atracción de la gravedad. La cantidad de agua que puede ser retenida contra la atracción de la gravedad se denomina "capacidad de campo" (FC). La cantidad potencial de lixiviado es la cantidad de humedad dentro del vertedero que excede la capacidad de campo del mismo. La capacidad de campo, que varía con el peso de la sobrecarga, puede estimarse utilizando la siguiente ecuación 4:

$$FC = 0{,}60 - 0{,}55\left[\frac{W}{4536 + W}\right]$$

(Ec. 4)

Donde:

FC = capacidad de campo (es decir, la fracción de agua en los residuos basada en el peso seco de los mismos)

W = masa de sobrecarga calculada a la altura media de los residuos en el nivel en cuestión, kg.

El balance hídrico de un relleno se prepara sumando la masa de agua que entra en una unidad de superficie (m^2) de una determinada capa o nivel del relleno durante un determinado incremento de tiempo (año) al contenido de humedad de esa capa al final del incremento de tiempo anterior, y restando la masa de agua que se pierde de la capa durante el incremento de tiempo actual. El resultado se denomina el agua disponible en el incremento de tiempo actual para la capa particular del vertedero. Para determinar si se formará lixiviado, se compara la capacidad de campo del vertedero con la cantidad de agua presente. Si la capacidad de campo es menor que la cantidad de agua presente, entonces se formarán lixiviados [50] [55].

3.1.2. Datos Básicos de Diseño

Se presentan en la Tabla 14 los valores contemplados para la estimación de los RSU a disponer en los 20 años de vida útil del proyecto. Las proyecciones de la población a servir, de la generación y recolección de los RSU se presentan en la Tabla 15. La estimación de la variación anual se presenta en la Tabla 16.

Tabla 14. Datos y supuestos para el análisis de alternativas.

Etapa	Indicador	Parámetro	Valor	Unidad
Generación	PR: Población Residente	Periodo a servir	365	días/año
Generación	PTA: Pico Temporada Alta	Periodo a servir	43	días/año
Generación	TA: Temporada Alta	Periodo a servir	60	días/año
Generación	GPC	GPC inicial	0,850	kg/hab/día
Generación	GPC	% incremento anual	1	%/año
Generación	Composición	Orgánicos	50	%
Generación	Composición	Papel y cartón	17	%
Generación	Composición	Plásticos	14	%
Generación	Composición	Vidrio	5	%
Generación	Composición	Metales	2	%
Generación	Composición	Otros	12	%
Generación	Densidad	Dens. en origen	290	kg/m^3
Tratamiento	Composición	Materia orgánica biodegradable	38	%
Tratamiento	Composición	Materiales Reciclables	7	%
Tratamiento	Composición	Materiales aptos CDR	25	%
Tratamiento	Composición	Rechazo	30	%
Recolección	Cobertura	Cobertura inicial	90	%
Recolección	Cobertura	% incremento anual	0,50	%
Recolección	Densidad	Dens. en camión recolector	450	kg/m^3
Disposición	Densidad	Dens. en relleno joven mecanizado	800	kg/m^3
Disposición	Densidad	Dens. en relleno estabilizado	950	kg/m^3

Tabla 15. Proyección de la población a servir y de los RSU generados, recolectados, reciclados y a disponer. PR: Población residente; PTA: Población turística en Picos de Temporada Alta; TA: Población turística en Temporada Alta; GPC: Generación per Cápita; GA PR: Generación Anual fuera de temporada; GA PTA: Generación Anual en Pico Temporada Alta; GA TA: Generación Anual en Temporada Alta; GA TOT: Generación Anual Total.

AÑO		Población			Generación					Recolección			Tratamiento		Disposición			
		Local	Turismo		GPC	Fuera de temporada	Temporada		Total	Cober-tura	RSU recolectados		Reciclaje		Anual			Diaria
		PR	PTA	TA		GA PR	GA PTA	GA TA	GA TOT									
		hab	hab	hab	kg/hab/día	tn/año	tn/año	tn/año	tn/año	%	tn/año	m³/año	%	tn/año	tn/año	m3/año	m3/año acumulado	tn/año
1	2022	96921	110000	82500	0,850	21584	7563	9150	38298	90,0	36807	81794	1,0	345	34123	35919	34123	93,5
2	2023	97205	110500	82875	0,859	21864	7668	9276	38807	90,5	37505	83344	1,5	527	34594	36415	34594	94,8
3	2024	97482	111000	83250	0,867	22146	7773	9403	39321	91,0	38212	84915	2,0	716	35067	36912	35067	96,1
4	2025	97752	111500	83625	0,876	22429	7880	9531	39840	91,5	38929	86508	2,5	911	35542	37412	35542	97,4
5	2026	98016	112000	84000	0,885	22715	7988	9660	40362	92,0	39655	88123	3,0	1114	36019	37915	36019	98,7
6	2027	98274	112500	84375	0,893	23002	8097	9790	40889	92,5	40392	89760	3,5	1324	36499	38420	36499	100,0
7	2028	98526	113000	84750	0,902	23292	8207	9922	41421	93,0	41139	91419	4,0	1541	36980	38927	36980	101,3
8	2029	98772	113500	85125	0,911	23583	8318	10055	41957	93,5	41896	93101	4,5	1765	37464	39436	37464	102,6
9	2030	99012	114000	85500	0,920	23877	8431	10190	42497	94,0	42663	94806	5,0	1997	37950	39948	37950	104,0
10	2031	99246	114500	85875	0,930	24173	8544	10326	43043	94,5	43441	96535	5,5	2237	38438	40461	38438	105,3
11	2032	99475	115000	86250	0,939	24471	8659	10463	43593	95,0	44230	98288	6,0	2485	38929	40977	38929	106,7
12	2033	99698	115500	86625	0,948	24771	8775	10602	44148	95,5	45029	100064	6,5	2740	39421	41496	39421	108,0
13	2034	99917	116000	87000	0,958	25073	8893	10742	44708	96,0	45839	101866	7,0	3004	39915	42016	39915	109,4
14	2035	100130	116500	87375	0,967	25378	9011	10883	45273	96,5	46661	103691	7,0	3058	40630	42768	40630	111,3
15	2036	100338	117000	87750	0,977	25685	9131	11026	45843	97,0	47494	105542	7,0	3113	41355	43531	41355	113,3
16	2037	100541	117500	88125	0,987	25995	9252	11171	46418	97,5	48338	107418	7,0	3168	42089	44304	42089	115,3
17	2038	100739	118000	88500	0,997	26306	9375	11317	46998	98,0	49194	109321	7,0	3224	42834	45088	42834	117,4
18	2039	100933	118500	88875	1,007	26620	9498	11464	47583	98,5	50062	111249	7,0	3281	43589	45883	43589	119,4
19	2040	101122	119000	89250	1,017	26937	9624	11613	48174	99,0	50942	113203	7,0	3338	44354	46688	44354	121,5
20	2041	101306	119500	89625	1,027	27256	9750	11764	48770	99,5	51833	115185	7,0	3397	45129	47505	45129	123,6

A modo de simplificación, se ha estimado la operación del relleno en base al promedio de RSU generados en el año. Lo anterior oculta la variabilidad estacional característica de una ciudad balnearia como Necochea. Dicha ponderación deberá tenerse en cuenta a la hora de operar el relleno, ya que en un 72% del año se dispone el 56% de los residuos totales. En la temporada alta, que dura un 16% del año, se dispone el 24% de los RSU y el restante 20% se dispone en el periodo de pico de temporada. Los RSU a disponer diariamente en la temporada representan un 185% de los RSU generados en los días del año. Los días de picos de temporada, la disposición se duplica en un 213% con respecto a un día normal.

Tabla 16. Estimación de la variación estacional en la disposición de los RSU del Relleno.

Año	Época	Periodo (días/año)	Fracción sobre año	Disp. RSU diaria (tn/d)	Total RSU disp. en periodo (tn)	% Disp. diaria sobre Disp. diaria Local	% Disp. en periodo sobre total RSU disp. en el año
1	Local	262	72%	73,4	19232	100%	56%
	PTA	43	12%	157	6739	213%	20%
	TA	60	16%	136	8153	185%	24%
	Promedio anual			**93,5**			
10	Local	262	72%	82,4	21587	100,0%	56%
	PTA	43	12%	177,4	7630	215%	20%
	TA	60	16%	153,7	9221	187%	24%
	Promedio anual			**105,3**			
20	Local	262	72%	96,3	25221	100%	56%
	PTA	43	12%	210	9022	218%	20%
	TA	60	16%	181	10886	188%	24%
	Promedio anual			**123,6**			

Como primer paso para la estimación del volumen de líquidos lixiviados a partir de los residuos, es necesario conocer las cantidades diarias y anuales de los residuos a disponer, para el año promedio de operación del cada Módulo. En este caso se contempla un período de operación por módulo de tres años. La información vinculada a estas condiciones se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. RSU a disponer por día y año promedio de operación de cada módulo, junto a la cantidad total de RSU por módulo (Tn: toneladas).

Año	Módulo	Residuos a disponer por día (Tn)	Residuos a disponer por año (Tn)	Residuos a disponer por módulo (Tn)
1-3	1	94,8	34594,7	103784,1
4-6	2	98,7	36019,9	108059,6
7-9	3	102,6	37464,9	112394,6
10-12	4	106,7	38929,2	116787,6
13-15	5	111,3	40633,3	121899,8
16-18	6	117,4	42837,2	128511,5
19-20	7	122,6	44741,6	134224,7

El peso específico compactado de los residuos y su contenido de humedad se presentan en la. Estos valores se utilizarán como base de cálculo del volumen de generación de lixiviado, por el concepto de compactación y degradación de los residuos dispuestos.

Tabla 18. Características de los RSU a disponer.

Características de los RSU	Valores
Peso específico compactado de los RSU (kg/m3)	1000
Disponibilidad de los RSU para la bioconversión (%)	65%
Humedad de los RSU (%)	40%

En la Figura 30 se presenta el método de disposición de RSU que será empleado en la operación del relleno sanitario.

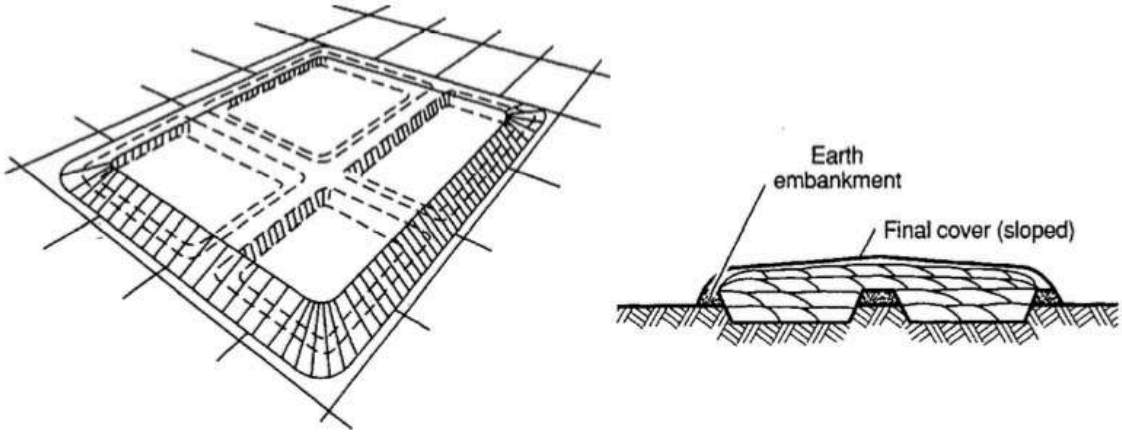


Figura 30. Método de disposición de RSU en el relleno sanitario. Fuente: [50].

3.1.3. Generación de gases

En la Tabla 19 se presentan los valores estimados para la generación de biogás de las fracciones rápida y lentamente degradable en m3/kg de residuos. Se han adoptado los presentados por Tchobanoglous (1994). Hay que destacar que los valores que se presentan son los valores máximos que se pueden presentar para residuos orgánicos mezclados. Las cantidades reales son generalmente menores ya que todos los desechos orgánicos biodegradables no están completamente disponibles para su descomposición.

Tabla 19. Generación de biogás de relleno [55].

Final del año	Rápidamente degradable	Lentamente degradable	Total (m3 gas/kg RSU)
1	0,000	0,000	0,000
2	0,059	0,000	0,059
3	0,103	0,001	0,104
4	0,073	0,002	0,075
5	0,044	0,003	0,047
6	0,015	0,004	0,019
7	0,000	0,005	0,005
8	0,000	0,004	0,004
9	0,000	0,002	0,002
10	0,000	0,001	0,001
11	0,000	0,001	0,001
12	0,000	0,001	0,001
13	0,000	0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000

Asimismo, se tuvieron en cuenta otros datos para el cálculo relacionados con el diseño del Módulo: el agua que se consumirá en la producción de gas, como también datos meteorológicos y peso del material de cobertura diaria. En la Tabla 20 se reflejan los valores consignados.

Tabla 20. Parámetros del modelo y propiedades físicas de los RSU.

Datos del módulo	Altura promedio de cada nivel (m)	3
	Relación residuos/cobertura	10:01
	Número de niveles	3
Datos de gases	Agua consumida en la formación de gas (kg/m3)	0,16
	Agua presente como vapor en el gas (kg/m3)	0,0016
	Peso específico del gas (kg/m3)	1,339
Otros datos	Precipitación promedio anual (mm/año)	906
	Peso del material de cobertura diaria (kg/m3)	1750

También se realizó el cálculo del caudal de lluvia infiltrado, en función del tipo de suelo, y su capacidad de campo, punto de marchitez, coeficiente de escorrentía, capacidad de almacenamiento de agua, y permeabilidad, entre otros; y sobre datos meteorológicos obtenidos del área. A continuación, se presentan las estimaciones realizadas en la conformación del balance hídrico.

3.1.4. Cálculo de la escorrentía

Para calcular la escorrentía en la zona del relleno, se tomó un coeficiente de escurrimiento del 15% según Salvato *et al.* (1971, citado en [84]) considerando una cubierta final de suelo franco arenoso y con una pendiente del 2%.

Los datos de precipitación media mensual fueron tomados de Merlotto y Piccolo (2009, [85]) y corresponden al régimen pluviométrico medio mensual de Necochea del período 1950-1977.

Tabla 21. Precipitación media mensual y estimación de la escorrentía mensual para Necochea. Elaboración propia a partir de [85].

Mes	P (mm)	Esc (mm)
Enero	95	14,25
Febrero	83	12,45
Marzo	100	15
Abril	77	11,55
Mayo	76	11,4
Junio	78	11,7
Julio	70	10,5
Agosto	55	8,25
Septiembre	60	9
Octubre	71	10,65
Noviembre	69	10,35
Diciembre	82	12,3
Anual	916	137,4

3.1.5. Cálculo de la evapotranspiración potencial ajustada

Para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial Ajustada se utilizó el programa desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, [86]) para la aplicación del balance hídrico de Thornthwaite (1948, [87]). Dicho balance utiliza un procedimiento contable para analizar la asignación de agua entre los diversos componentes del sistema hidrológico. Los datos de entrada del modelo son la temperatura mensual y la precipitación.

En la Figura 31 se presenta la visualización de los datos ingresados al Programa Thornthwaite Monthly Water Balance. Se utilizaron las temperaturas medias mensuales correspondientes al período 1997-2006, tomadas de Merlotto y Piccolo (2009, [85]). El sitio tiene una latitud de 38º Sur.

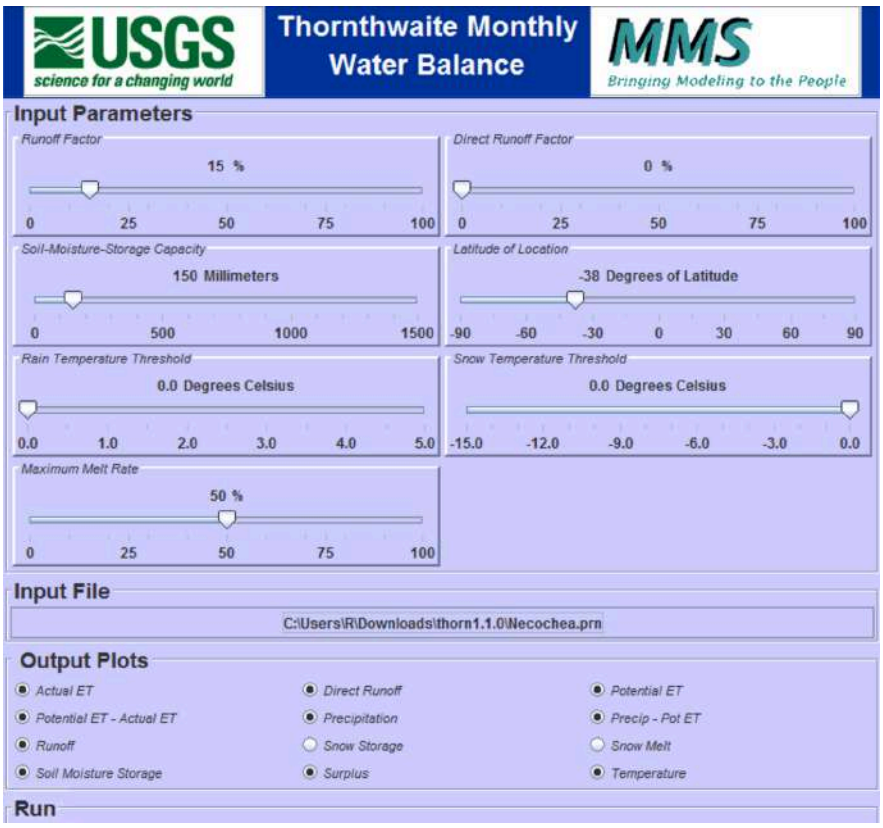


Figura 31. Parámetros de ingreso del Programa Thornthwaite Monthly Water Balance [86].

Los resultados incluyen la evapotranspiración potencial y real mensual y se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Evapotranspiración potencial y real mensual estimada a partir de Thornthwaite Monthly Water Balance.

Mes	Temp (ºC)	ETP (mm)	ETR (mm)	ETP-ETR (mm)
Enero	22	119,3	119,3	0
Febrero	21	88,8	87,9	0,9
Marzo	19	72,5	72,5	0
Abril	15	44	44	0
Mayo	12,5	31,9	31,9	0
Junio	10	23,7	23,7	0
Julio	9,5	25	25	0
Agosto	10	31	31	0
Septiembre	11,25	40,4	40,4	0
Octubre	14,5	62,2	62,2	0
Noviembre	17	82,2	82,2	0
Diciembre	20	109,7	107,3	2,4

En las siguientes páginas se presentan los cálculos del balance hídrico, siguiendo el método recomendado por Fenn (1975). Para el primer mes del primer año, se contempla una reserva saturada de humedad en el material de cobertura. Para los años subsiguientes, se considera la remanente del mes anterior.

El balance hídrico según Fenn [84] está presentado en la Tabla 23. Se observa que la percolación hacia el interior de la celda de RSU ocurre en los meses de mayo a septiembre, con un total anual de 113,3 mm. En los meses de junio y julio se concentra el 78% de la infiltración anual de la lluvia hacia el interior del relleno.

En las tablas se presentan datos mensuales de:

1. Precipitación
2. Escorrentía
3. Infiltración
4. Evapotranspiración potencial (ETP)
5. Variaciones en el almacenamiento de humedad del suelo de un volumen unitario del material de cobertura (ΔAlm)
6. Humedad almacenada en suelo de un volumen unitario del material de cobertura (Alm)
7. Evapotranspiración real (ETR)
8. Percolación: cantidad de agua que puede infiltrarse potencialmente a través de la cubierta del relleno. Se añade una columna a la derecha con el porcentaje de percolación mensual (Pm) en relación a la percolación total anual (Pa).

Tabla 23. Balance hídrico para el relleno sanitario en Necochea (todas las unidades están en mm).

Mes	Precipitación	Escorrentía	Infiltración	ETP	ΔAlm	Alm	ETR	Percolación	%Pm/Pa
Enero	95	14,25	80,75	119,3	-38,55	111,45	119,3	0	0%
Febrero	83	12,45	70,55	88,8	-18,25	93,2	88,8	0	0%
Marzo	100	15	85	72,5	12,5	105,7	72,5	0	0%
Abril	77	11,55	65,45	44	21,45	127,15	44	0	0%
Mayo	76	11,4	64,6	31,9	22,85	150	31,9	9,85	9%
Junio	78	11,7	66,3	23,7	0	150	23,7	42,6	38%
Julio	70	10,5	59,5	25	0	150	25	34,5	30%
Agosto	55	8,25	46,75	31	0	150	31	15,75	14%
Septiembre	60	9	51	40,4	0	150	40,4	10,6	9%
Octubre	71	10,65	60,35	62,2	-1,85	148,15	62,2	0	0%
Noviembre	69	10,35	58,65	82,2	-23,55	124,6	82,2	0	0%
Diciembre	82	12,3	69,7	109,7	-40	84,6	109,7	0	0%
Anual	916	137,4	778,6	730,7			730,7	113,3	100%

3.1.6. Estimación de la generación total de lixiviados esperada

A partir de los datos recopilados se realizó el cálculo de las cantidades totales de lixiviados generados por los residuos, según un modelo realizado siguiendo las pautas extraídas del libro "Gestión Integral de los Residuos Sólidos" de Tchobanoglous (1994).

El modelo fue generado a partir del esquema que se presenta en la Figura 32, que representa las diferentes capas o niveles sucesivos de disposición de RSU en un relleno modelo

y las variables que actúan sobre éste. Se ha modificado levemente el esquema original con la cantidad de niveles empleados en este trabajo. Se observa el cese de infiltración tras la colocación de la cubierta final del relleno.

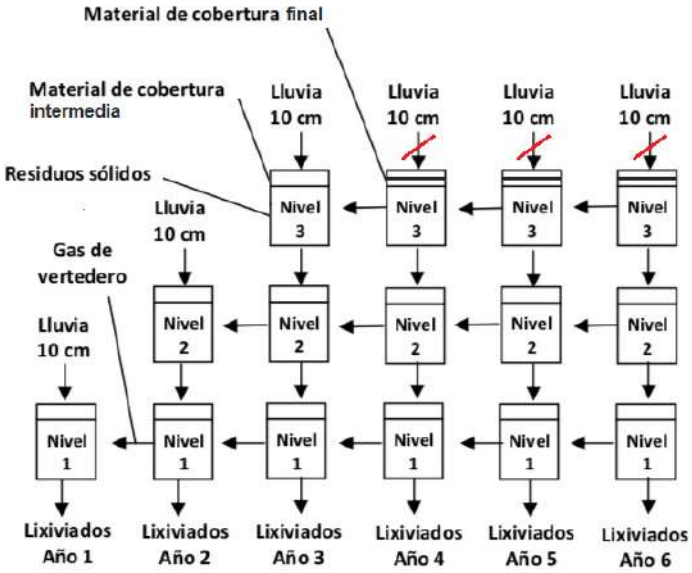


Figura 32. Esquema del funcionamiento y evolución del modelo de estimación de la cantidad de lixiviado a generarse en un relleno sanitario. Modificado de [55].

En la Tabla 24 se pueden observar los pesos promedio de los componentes de cada uno de los elementos del modelo.

Tabla 24. Peso de los distintos niveles del módulo por m² de superficie.

Material de cobertura diaria (kg/m2)	477
Peso de los residuos (kg/m2)	2727
Peso del nivel (kg/m2)	3205
Peso seco de los residuos (kg/m2)	1636
Contenido de humedad de los RSU (kg/m2)	1091
Peso anual de la lluvia infiltrada (kg/m2)	113
Peso total del nivel (kg/m2)	3318

Se empleó el modelo para estimar la generación de lixiviado anual para cada nivel de del módulo 1. Las variables involucradas son los aportes de agua con la humedad de los RSU, el ingreso de aguas de lluvia, la retención de agua en los residuos que depende de la compactación y degradación de los residuos, el egreso de agua en la formación de gas.

El cálculo de la producción de lixiviados se realizó en función de los kg de lixiviado por metro cuadrado de módulo ocupado. En segunda instancia, se estimó la cantidad total de lixiviado para la superficie ocupada por cada módulo. Para ello fue necesario calcular la superficie de cada módulo teniendo en cuenta tanto la cantidad de RSU a disponer en cada uno de ellos (Tabla 17) como también que los módulos han sido diseñados para disponer 2727 kg/m2 por nivel. La Tabla 25 presenta las superficies calculadas por módulo.

Tabla 25. Superficies de los módulos.

Año	Módulo	Superficie mínima requerida (ha)
1-3	1	1,27
4-6	2	1,32
7-9	3	1,37
10-12	4	1,43
13-15	5	1,49
16-18	6	1,57
19-20	7	1,64
	Total	10,09

En la Tabla 26 se presentan los kg de lixiviados estimados por m^2 y año que servirán para el cálculo de volúmenes de todos los módulos. En la misma tabla se presenta la generación de lixiviado en m^3 para el módulo 1.

Tabla 26. Lixiviado generado por año. Se expresa el genérico en kg/m^2 (válido para todos los módulos) y el particular para Módulo 1 en volumen (m^3).

Año	Masa de lixiviado por unidad de superficie (kg/m2/año)	Volumen de lixiviado (m3/año)
1	487,84	6188,2
2	746,55	9469,8
3	900,23	11419,2
4	259,84	3295,9
5	215,31	2731,2
6	126,55	1605,3
7	77,93	988,5
8	32,03	406,3
9	9,79	124,2
10	7,50	95,1
11	3,91	49,6
12	2,35	29,8
13	1,99	25,3
14	1,60	20,3
15	0,00	0,0
16	0,00	0,0
17	0,00	0,0
18	0,00	0,0
19	0,00	0,0
20	0,00	0,0

En la Figura 33, se observa la variación de los volúmenes generados en el período de la vida útil del Módulo 1. Según la estimación realizada, el volumen máximo de lixiviados para el Módulo 1 se generará en el año 3 y será de 11419,2 m^3.

Asimismo, resulta necesario conocer la cantidad total de lixiviados a generarse, es decir los valores acumulados de los 6 módulos restantes, los que se irán construyendo cada 3 años. Para ello, se emplearon los valores de lixiviado por m2 hallados para el módulo 1 y se los multiplicó por las áreas de cada módulo correspondiente. Se sumaron los lixiviados generados en cada módulo y año correspondiente. En la Figura 34 se pueden observar estos resultados.

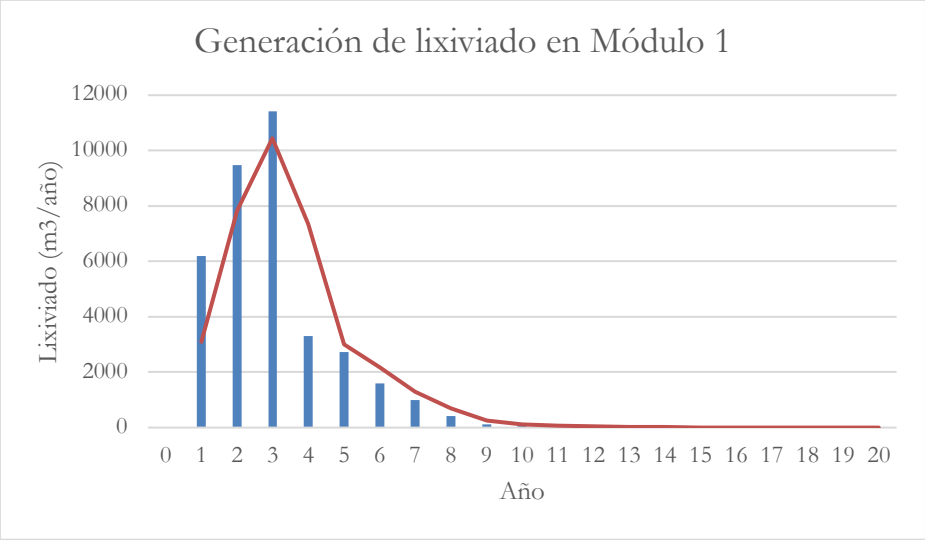


Figura 33. Volumen anual de lixiviados producidos (m3) en el Módulo 1 (se agrega línea de tendencia).

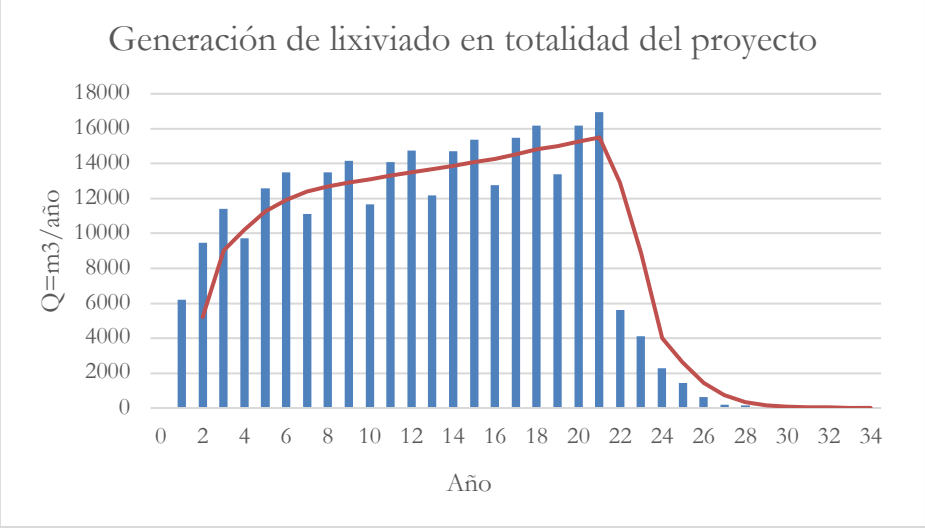


Figura 34. Volumen anual total de lixiviados producidos (m^3). (Se agrega línea de tendencia).

De la Figura 34 surge que la máxima producción se producirá en el año 21, con un volumen de aproximadamente 16935,6 m^3. Si bien este es el valor máximo, se puede observar un intervalo de alta generación, entre los años 6 al 21, con un promedio anual de 14123,7 m^3.

En lo que respecta la distribución anual de generación de lixiviado, esta no es constante al estar asociada al régimen pluviométrico de la región. Para estimar la contribución de las precipitaciones al caudal de lixiviado, se ha corrido nuevamente el modelo excluyendo el término de infiltración del agua de lluvia. La resta entre los caudales anuales de ambas corridas corresponde al lixiviado formado gracias al término de infiltración. Se espera un incremento en la época invernal debido a que la distribución de la infiltración está concentrada en los meses de mayo a septiembre. En la Figura 35 se presenta la variación interanual para el primer año de operación, con la celda 1 en funcionamiento. En la época seca, el caudal mensual es de 390 m3/mes, o 12,8 m3/día. El junio, el caudal diario casi se triplica a 960 m3/mes, o 31,7 m3/día.

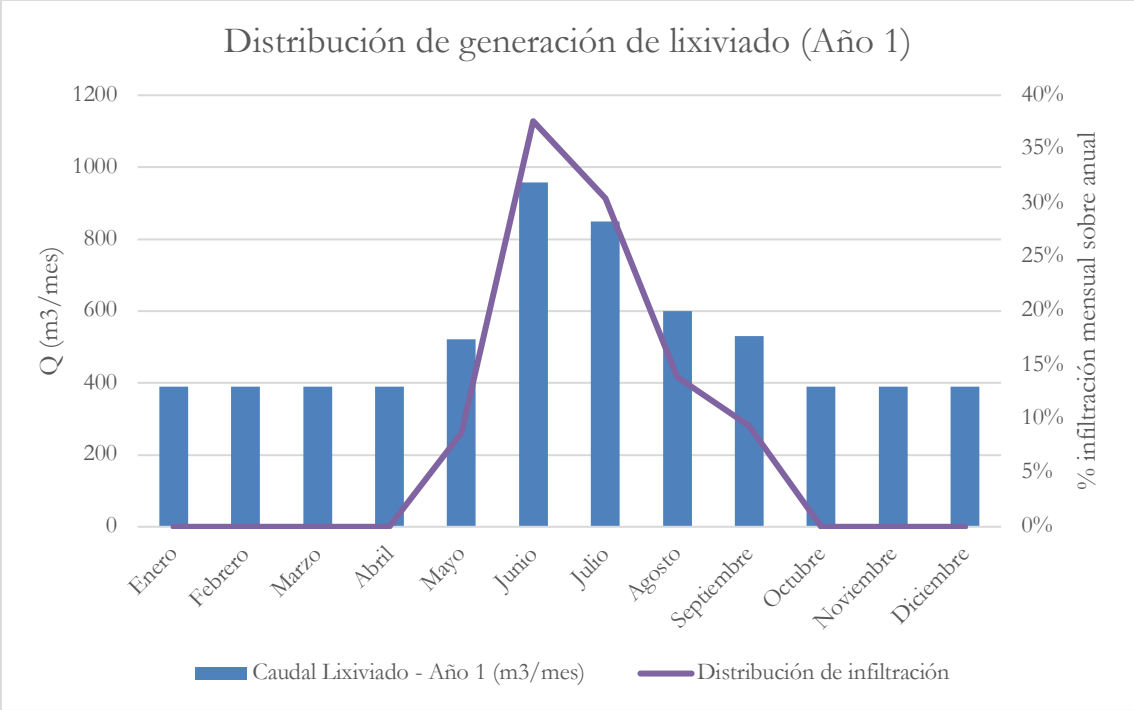


Figura 35. Distribución interanual de la generación de lixiviado (Año 1).

En la Tabla 27 se presentan los valores de caudales medios anuales y diarios, junto a los correspondientes diarios según el periodo del año: seco (de octubre a abril) y húmedo (de junio a agosto). Los meses de mayo y septiembre son considerados de transición.

El caudal máximo anual correspondiente al año 21, ya que se trata del tercer año de operación del módulo 7 del relleno, el último año en el que un módulo se encuentra abierto a la infiltración de las precipitaciones. El caudal diario para ese año es de 46,4m^3/día.

Cabe destacar la suposición tomada para la estimación de los caudales diarios: se ha considerado que las precipitaciones son uniformes dentro de cada mes. La simplificación anterior se realiza para conocer los caudales medios en la duración del proyecto.

Tabla 27. Estimación de caudales anuales y diarios (medios, mínimos y máximos) de lixiviados.

Año	Q anual (m3/año)	Q medio diario anual (m3/día)	Q medio diario (m3/día) Periodo seco	Q medio diario (m3/día) Pico periodo húmedo
1	6188,2	17,0	12,8	31,7
2	9469,8	25,9	21,8	40,8
3	11419,2	31,3	27,2	45,9
4	9739,0	26,7	22,8	40,7
5	12591,1	34,5	30,2	49,7
6	13494,9	37,0	32,8	52,0
7	11121,8	30,5	26,4	45,0
8	13505,5	37,0	32,6	52,8
9	14162,2	38,8	34,4	54,5
10	11657,3	31,9	27,7	47,0
11	14086,8	38,6	34,0	55,0
12	14747,5	40,4	35,9	56,7
13	12172,0	33,4	28,9	49,1
14	14708,2	40,3	35,5	57,5
15	15384,3	42,2	37,4	59,1
16	12775,5	35,0	30,3	51,6
17	15466,1	42,4	37,3	60,5
18	16197,4	44,4	39,4	62,3
19	13379,9	36,7	31,8	54,0
20	16184,4	**44,3**	39,1	63,2
21	16935,6	**46,4**	41,2	65,1
22	5626,9	15,4	15,4	15,4
23	4116,6	11,3	11,3	11,3
24	2264,9	6,2	6,2	6,2
25	1425,9	3,9	3,9	3,9
26	610,8	1,7	1,7	1,7
27	197,5	0,5	0,5	0,5
28	154,3	0,4	0,4	0,4
29	89,3	0,2	0,2	0,2
30	38,5	0,1	0,1	0,1
31	32,7	0,1	0,1	0,1
32	26,3	0,1	0,1	0,1
33	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,0

3.1.7. Caudal de diseño

El caudal de diseño de la planta de tratamiento de efluentes es de 45 m3/d, lo que equivale a una capacidad de tratamiento que acompaña la vida útil del relleno sanitario. A partir del año 22 de operación del relleno, la PTE podrá seguir operativa recibiendo el efluente de nuevos módulos no contemplados en el presente proyecto. Por esta razón, no se contempla un cierre de operación de la planta.

El caudal contempla, a su vez, la corriente cloacal proveniente de los operadores del predio y transportistas que fueran a descargar los RSU. El caudal resultante de los sanitarios y duchas para una capacidad de 10 personas no supera el aporte de 1 m^3 al día, teniendo en cuenta una dotación de 90L/persona/día [88].

3.2. Estimación de la carga contaminante a remover

La composición fisicoquímica de los lixiviados del relleno es compleja debido a que los procesos que la determinan se ven afectados por cambios en el clima, en la calidad de los RSU dispuestos y por la edad de los rellenos.

En este caso, se estimaron los valores según bibliografía (valores de rellenos coordinados por CEAMSE y valores generales de [50]) para un módulo genérico y 3 etapas etarias. La primera etapa, correspondiente al de un relleno joven, incluye el año 1 al 3 y coincide con los años de operación efectiva de cada módulo. La carga orgánica resulta muy elevada, del orden de 10.000 mg DBO/L y la relación DBO/DQO toma un valor de 0,5, confirmando la biodegradabilidad del efluente. La siguiente etapa de edad intermedia contempla los años 4 a 10. La carga orgánica de los lixiviados es inferior en esta etapa, con una disminución de la relación DBO/DQO. Del año 11 en adelante se considerarán los valores de rellenos maduros, donde primarán los compuestos orgánicos recalcitrantes. Los valores teóricos de los parámetros se presentan en la Tabla 28.

Dadas las características de origen del residuo y los registros de análisis de laboratorio de plantas operadas por el CEAMSE, no es de esperar altas concentraciones de metales pesados ni tóxicos orgánicos que justifiquen la incorporación de sistemas de remoción específicos, así como de parámetros inhibidores de la actividad microbiana (pH, etc.).

Se considera que el tipo de residuo dispuesto tendrá las mismas características durante todo el período de operación del relleno sanitario.

Tabla 28. Composición fisicoquímica de los lixiviados según la edad de la celda del relleno. ND: no disponible.

Parámetro	Valor típico del lixiviado según edad de la celda		
	Joven	Intermedio	Maduro
Años	1 a 3	4 a 10	>10
DBO_5 (mg/l)	10.000	3.000	250
DQO (mg/l)	18.000	10.000	2.500
Biodegradabilidad (DBO_5/DQO)	0,56	0,3	0,1
COT (mg/l)	8.000	2.500	150
SST (mg/l)	500	300	300
NTK (mg/l)	2.000	1500	500
N-org (mg/l)	400	300	100
N-NH4 (mg/l)	1.600	700	200
Nitrato (mg/l)	25	15	10
P total (mg/l)	100	50	10
Alcalinidad (mg $CaCO_3$/L)	8.000	5.000	1.000
pH (upH)	6,5	7	7,5
Dureza (mg $CaCO_3$/L)	1.500	1.000	500
Aceites y grasas (SSEE) (mg/l)	200	100	50
Densidad (kg/m3)	1.000	1.000	1.000
C:N(-NH4):P	100:30:1	100:50:1,7	100:40:4
Calcio (mg/l)	1.000	ND	250
Magnesio (mg/l)	250	ND	125
Potasio (mg/l)	300	ND	150
Sodio (mg/l)	500	ND	150
Cloruro (mg/l)	500	ND	250
Sulfato (mg/l)	300	ND	50
Plaguicidas (mg/l)	ND	ND	ND
Hidrocarburos (mg/l)	ND	ND	ND
Metales pesados (Ca, Hg, Pb, Cr VI) (mg/l)	ND	ND	ND

A su vez, la composición de la corriente cloacal tiene las características fisicoquímicas enunciadas en la Tabla 29.

Tabla 29. Caracterización típica de un efluente cloacal [88].

Parámetro	Unidad	Valor
DBO_5	mg/l	220
DQO	mg/l	400
Biodegradabilidad (DBO_5/DQO)	-	0,55
SST	mg/l	200
NTK	mg/l	40
P total	mg/l	10
SSEE	mg/l	<100

Debido a la existencia de 7 módulos que se operarán con una diferencia de 3 años, es importante conocer la composición resultante de la mezcla de las distintas corrientes de lixiviado de distinta edad provenientes de cada uno de ellos, junto con el ingreso del efluente cloacal. Para ello, se realizó un balance de masa para cada año teniendo en cuenta los caudales y la composición según la edad de cada módulo. Se presenta la fórmula empleada a continuación:

$$[A]_{Tot,i} = \frac{\sum_{m=1}^{7}[A]_{m,i} \cdot V_{m,i} + [A]_c \cdot V_{c,i}}{V_{Tot,i}}$$

(Ec. 5)

Donde:

$[A]_{Tot,i}$ = concentración de un parámetro de la Tabla 28 para la corriente unificada de lixiviado, en el año i,

$[A]_{m,i}$ = concentración del parámetro A del lixiviado proveniente del módulo *m*, en el año *i*,

$[A]_{m,i}$ = concentración del parámetro A de efluente cloacal,

$V_{m,i}$ = volumen de lixiviado del módulo *m*, generado en el año *i,*

$V_{m,i}$ = volumen de efluente cloacal generado en el año *i,*

$V_{Tot,i}$ = volumen total de lixiviado generado en el relleno (suma de todos los volúmenes de todos los módulos y corriente cloacal), en el año *i,*

i = año en estudio (1-32),

m = número de módulo (1-7).

En los gráficos de la Figura 36 y Figura 37 se indican las variaciones temporales (en años) de las concentraciones de DBO5 y de nutrientes (nitrógeno en sus formas orgánica, amoniacal y nitratos; y fósforo total) para el lixiviado resultante de la mezcla de los distintos módulos. En la Figura 36 también se presenta la variación de la relación DBO5/DQO que indica el grado de biodegradabilidad del lixiviado.

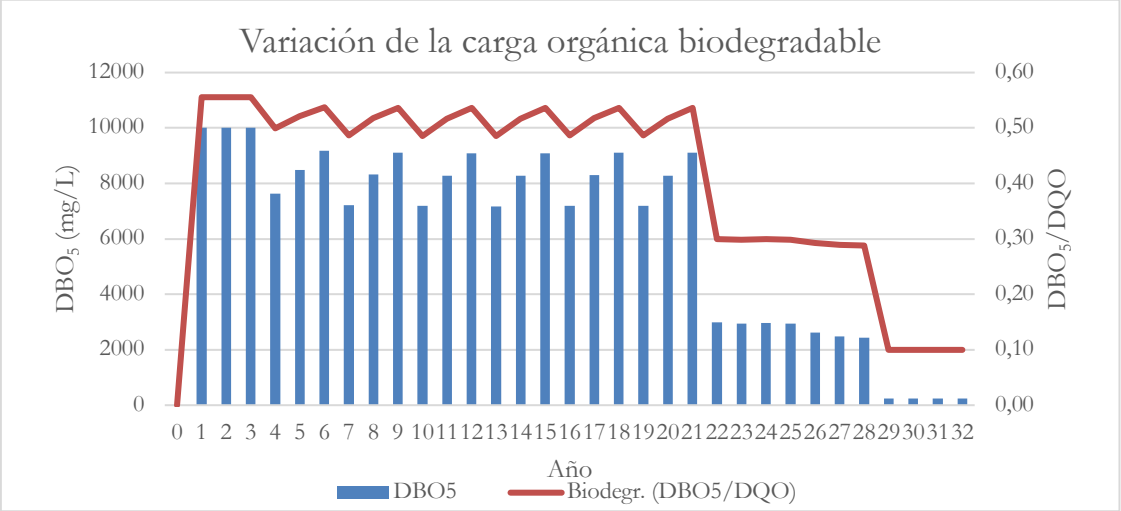


Figura 36. Variación de la DBO5 y de la biodegradabilidad del efluente unificado.

Un efluente se considera biodegradable si la relación DBO5/DQO es mayor a 0,4. Del análisis de la Figura 36 se estima que el lixiviado conservará su condición de biodegradable por los primeros 22 años de operación ya que dicha relación se oscila en el valor 0,5. De este resultado se confirma la aplicación de tratamientos biológicos para la remoción de la carga orgánica. Tras el cierre del séptimo módulo, la planta de tratamiento deberá ser modificada para tratar el lixiviado de menor biodegradabilidad.

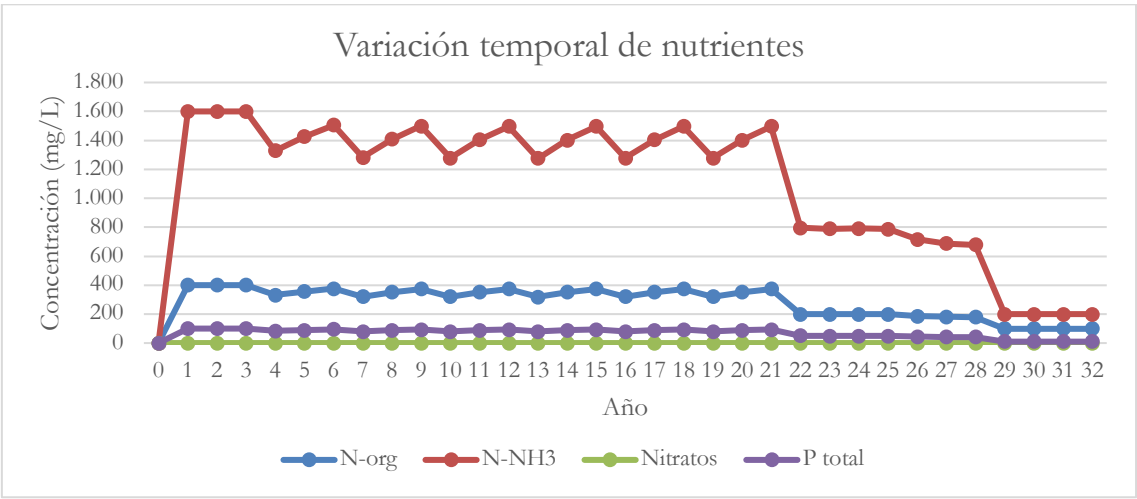


Figura 37. Variación temporal de la carga de nutrientes Nitrógeno (orgánico, amoniacal y nitratos) y Fósforo.

En la Figura 37 se presentan la concentración de nutrientes para la corriente de lixiviado unificado. Se observa una carga importante de nitrógeno amoniacal oscilante en el orden de los 2600 mg/l, correspondiente a poco más del 80% del nitrógeno total presente en el efluente. El fósforo está presente en mucha menor proporción que el nitrógeno, en el orden de los 100 mg/l.

La proporción requerida de nutrientes para favorecer la biodegradación se conoce como C:N:P e indica la relación de nitrógeno y fósforo que necesitan los microorganismos para metabolizar la contaminación carbonosa (medida en DBO5). Se considera que un efluente tiene suficientes nutrientes cuando la relación C:N:P es 100:5:1. En la Figura 38 se muestra la variación de las proporciones Nitrógeno/Carbono y Fósforo/Carbono. Se observa que, en los 32 años de formación de lixiviado, el nitrógeno siempre supera el 5% requerido y el fósforo su respectivo 1%. El análisis indica que no será necesario dosificar nutrientes para un correcto desarrollo biológico, sino que será importante controlar su eficiente remoción.

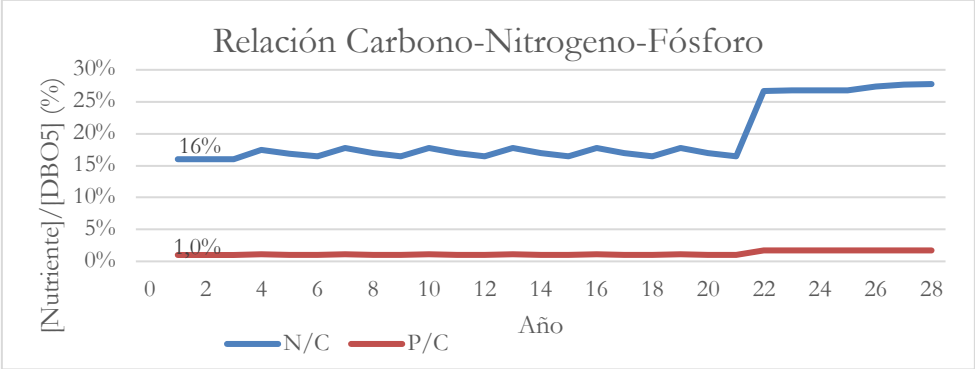


Figura 38. Variación de la relación Carbono, Nitrógeno y Fósforo.

3.2.1. Caracterización fisicoquímica estimada del efluente

En función de las premisas de tratamiento y los requerimientos de descarga se ha considerado como aspecto básico del tratamiento, la remoción de la materia orgánica.

La Tabla 30 muestra el resumen de valores de parámetros que se adoptarán para el diseño de la planta de lixiviados.

Tabla 30. Parámetros adoptados para el diseño de la planta de tratamiento de lixiviados.

Parámetro	Valor adoptado
DBO_5 (mg/l)	10.000
DQO (mg/l)	18.000
Biodegradabilidad (DBO_5/DQO)	0,56
NTK (mg/l)	2.000
N-NH4 (mg/l)	1.600
P Total (mg/l)	100
Alcalinidad (mg CaCO3/l)	7.000
SST (mg/L)	500
pH (upH)	7
SSEE (mg/l)	150

La remoción de la contaminación carbonosa será el principal objetivo del tratamiento, junto con la remoción de la elevada carga de nitrógeno. La neutralidad del pH no supone un requerimiento de un sistema de corrección, pero podría agregarse para la estabilidad de la operación. En cuanto a los sólidos suspendidos, estos se encuentran en un nivel bajo en comparación al valor de DBO y DQO, lo que indica que la carga orgánica se encuentra en su mayoría disuelta. El valor del aceite y las grasas equivale a menos de un 2% de la carga de DBO, lo cual indica que no es necesario un proceso unitario para su exclusiva remoción.

3.2.2. Condiciones de vuelco de efluentes líquidos

La Resolución N°336/2003 de la Autoridad del Agua establece los valores máximos de los distintos parámetros de contaminación que se admitirán en los efluentes líquidos de establecimientos industriales. En este caso, no existen cursos de agua superficiales cercanos al predio, ni tampoco redes cloacales o pluviales. La descarga en mar abierto también supera las distancias económicamente aceptables. Por este motivo, el efluente será tratado para cumplir con los parámetros presentados en la Tabla 31 de vuelco por absorción por suelo. El efluente tratado se utilizará parcialmente para regar las calles internas y la vegetación del predio.

Debido al exceso de nitrógeno del efluente, se prestará particular atención en la remoción de este nutriente. La normativa de la Provincia de Buenos Aires omite una regulación en el vuelco de nitratos, pero en este caso se considerará su remoción para prevenir la contaminación de los acuíferos con esta especie nitrogenada.

Tabla 31. Límites de vuelco por absorción por suelo para los efluentes líquidos según la Autoridad del Agua [89]. La indicación de "Ausente" es equivalente a menor que el límite de detección de la técnica analítica indicada. N.E. significa que por el momento no se establece límites permisibles.

GRUPO	PARÁMETRO	UNIDAD	Absorción por el suelo
I	Temperatura	ºC	≤45
	pH	upH	6,5-10
	Sólidos Sedimentables 10 Minutos	ml/l	Ausente
	Sólidos Sedimentables 2 horas	ml/l	<5,0
	Sulfuros	mg/l	≤5,0
	S.S.E.E.	mg/l	≤50
	Cianuros	mg/l	Ausente
	Hidrocarburos Totales	mg/l	Ausente
	Cloro Libre	mg/l	Ausente
	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	≤2000
II	D.B.O.	mg/l	≤200
	D.Q.O.	mg/l	≤500
	S.A.A.M.	mg/l	≤2,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	≤0,1
	Sulfatos	mg/l	≤1000
	Carbonos orgánico total	mg/l	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	≤0,1
	Manganeso (soluble)	mg/l	≤0,1
III	Cinc	mg/l	≤1,0
	Níquel	mg/l	≤1,0
	Cromo Total	mg/l	Ausente
	Cromo Hexavalente	mg/l	Ausente
	Cadmio	mg/l	Ausente
	Mercurio	mg/l	Ausente
	Cobre	mg/l	Ausente
	Aluminio	mg/l	≤1,0
	Arsénico	mg/l	≤0,1
	Bario	mg/l	≤1,0
	Boro	mg/l	≤1,0
	Cobalto	mg/l	≤1,0
	Selenio	mg/l	Ausente
	Plomo	mg/l	Ausente
	Plaguicidas Organoclorados	mg/l	Ausente
	Plaguicidas Organofosforados	mg/l	Ausente
IV	Nitrógeno Total (NTK)	mg/l	-6,5
	Nitrógeno Amoniacal	mg/l	≤75
	Nitrógeno Orgánico	mg/l	≤30
	Fósforo total	mg/l	≤10

CAPÍTULO 4. Alternativas de tratamiento

En base a la experiencia hallada en Argentina y el mundo, se han seleccionado las siguientes alternativas de tratamiento para los efluentes lixiviados del relleno sanitario de Necochea:

1. Alternativa 1: Pretratamiento en pozo de bombeo; tratamiento biológico compuesto de lagunas anaeróbicas y lodos activados de aireación extendida con nitrificación y desnitrificación; tratamiento terciario con cloración y carbón activado; deshidratación de lodos.

2. Alternativa 2: Pretratamiento en pozo de bombeo y laguna de ecualización; tratamiento primario fisicoquímico de coagulación, floculación, sedimentación; tratamiento avanzado con biorreactor de membranas (MBR) con nitrificación y desnitrificación; tratamiento terciario con carbón activado; deshidratación de lodos.

4.1. Alternativa 1

El diagrama de bloques con los procesos que integran la alternativa 1 se presentan en la Figura 39.

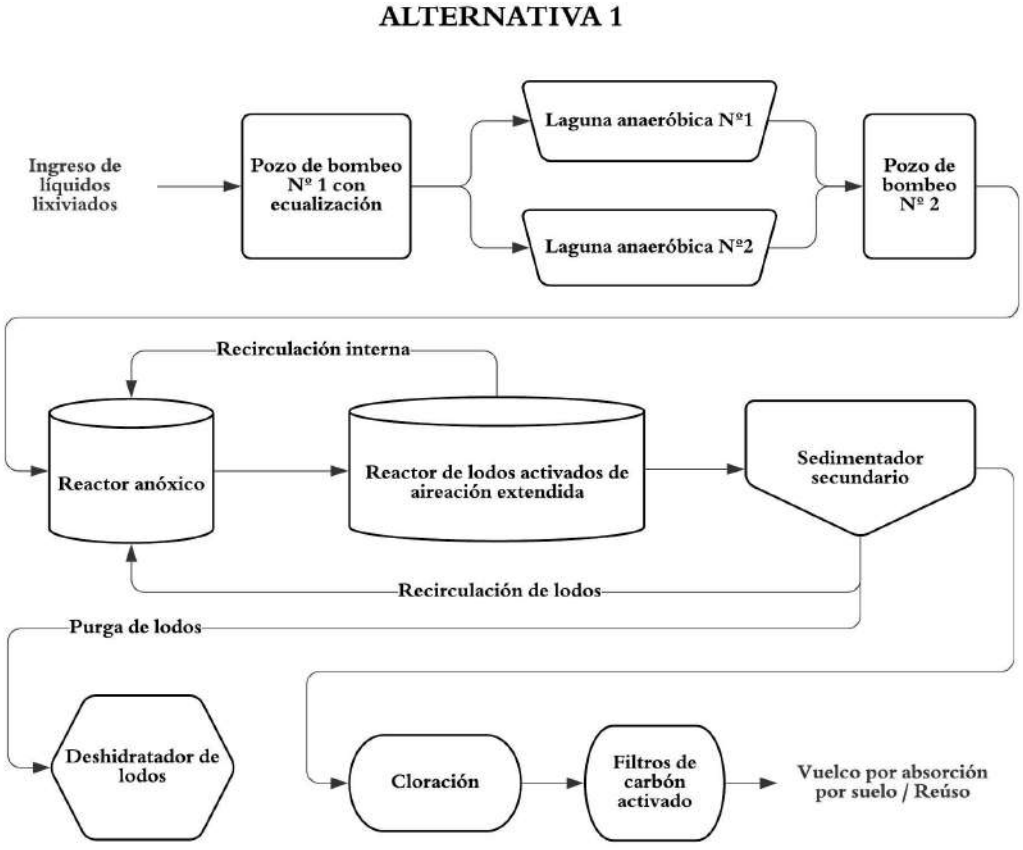


Figura 39. Diagrama de bloques de la Alternativa 1.

4.1.1. Pretratamiento

El objetivo de todo pretratamiento es el de acondicionar el efluente para los procesos posteriores. Se busca homogeneizar la carga y el caudal como también remover partículas que puedan dañar procesos o equipos instalados en la planta.

Algunas plantas de tratamiento de lixiviados (CEAMSE Norte III y CEAMSE Mar del Plata) carecen de instalaciones de desbaste ya que el efluente pierde muchos sólidos dentro del relleno y otros son frenados por rejas finas en la entrada de las estaciones de bombeo. En otras plantas como en el predio de CEAMSE de González Catán, se encuentran instaladas rejas manuales y desarenadores para eliminar los sólidos más gruesos y densos.

4.1.1.1. Pozo de bombeo

El pozo de bombeo recibirá los efluentes lixiviados de todos los sectores de los módulos del relleno sanitario. En dicho pozo se realizarán los siguientes procesos:

1. Desbaste: El efluente descargará sobre un canasto de malla perforada con diámetro de orificios de 10 mm que impedirá el pasaje de sólidos gruesos. Los sólidos retenidos deberán ser removidos manualmente con frecuencia para impedir la obturación del canasto.

2. Ecualización: El pozo de bombeo se dimensionará para contener los lixiviados por 24 horas de generación. Esto permitirá atenuar fluctuaciones diarias de caudal y carga. A su vez, se instalará un mezclador sumergible para homogeneizar las concentraciones y mantener los sólidos finos en suspensión.

   En el caso de la Alternativa 1 aclara: El volumen del pozo no contemplará la ecualización total de las fluctuaciones de caudal ya que no se prevé la instalación de procesos unitarios primarios que requieran un caudal homogéneo en todo instante (coagulación, sedimentación primaria, etc.). La laguna anaeróbica será capaz de soportar variaciones de carga y caudal no neutralizadas en el pozo de bombeo.

3. Impulsión: El pozo de bombeo contará con dos bombas sumergibles cortadoras que impulsarán el lixiviado a la primera etapa del tratamiento. Las bombas funcionarán en forma alternada de manera de que su desgaste sea parejo. En caso de caudales extraordinarios, las dos podrán funcionar en simultáneo. Estarán instaladas con un sistema de anclaje y guía para facilitar su elevación y mantenimiento.
   Se instalará un medidor de caudal para determinar el ingreso de efluente a la planta [90].

4.1.2. Tratamiento secundario

A continuación, se presentan las etapas seleccionadas para el tratamiento secundario biológico del efluente lixiviado.

4.1.2.1. Tratamiento anaeróbico

En Argentina, el tren de tratamiento biológico de la mayoría de las plantas de lixiviados operadas por CEAMSE ([61] [15] [16] [59] [14]) contempla la instalación de una o varias lagunas anaeróbicas. Las lagunas anaerobias permiten la biodegradación de la materia orgánica mediante la intervención de microorganismos anaerobios estrictos y facultativos, permitiendo además la atenuación de la carga orgánica y la homogeneización del flujo afluente. Las eficiencias de remoción de las lagunas anaeróbicas suelen oscilar entre un 40-60% [91].

Los tratamientos anaeróbicos son adecuados para tratar efluentes de alta carga orgánica, como los lixiviados generados en rellenos jóvenes. A diferencia de los procesos aeróbicos, los tratamientos anaeróbicos consumen poca o ninguna energía. Por el contrario, es posible aprovechar energéticamente el metano producido (por ejemplo, para calentar digestores que suelen funcionar a 35ºC y, en condiciones favorables, para fines externos). Para ello, se puede proporcionar una cubierta para atrapar y recoger el gas subproducto del proceso, para su uso en otro lugar.

Debido a que los estanques anaeróbicos son profundos y generalmente tienen un tiempo de residencia hidráulica (TRH) relativamente más largo, los sólidos se asientan y los lodos retenidos se digieren reduciendo su volumen [90]. Las profundidades sugeridas son de 3.0 a 5.0 metros, y la recomendación de tiempo para realizar el dragado de sólidos, considerando una operación continua, es de dos a cuatro años [91].

Los microorganismos anaeróbicos tienen la ventaja de ser resilientes a cambios estacionales y paradas de actividad, por ejemplo, por épocas prolongadas de sequía. Pueden reducir su metabolismo a un mínimo y luego volver a adaptarse a estados de fuerte actividad metabólica.

La configuración de las lagunas anaeróbicas suele ser modular, en configuraciones en serie o paralela. Con el propósito de llevar a cabo un adecuado mantenimiento del sistema lagunar, se recomienda incluir en la construcción series de lagunas en paralelo [91]. En la configuración paralela, la carga volumétrica (kg $DBO_5/m^3/d$) se reparte en partes iguales en las lagunas. Por lo tanto, es menos probable que la configuración paralela produzca olores que la configuración en serie [90].

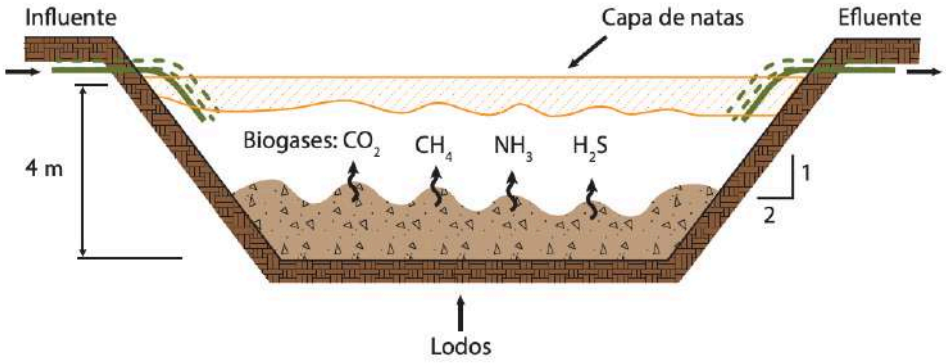


Figura 40. Proceso de una laguna anaerobia. Fuente: [91]

Los efluentes crudos entran cerca del fondo de la laguna y se mezclan con la masa microbiana activa. Prevalecen las condiciones anaeróbicas, excepto por una capa superficial

poco profunda en la que se concentra el exceso de grasa y escoria no digerida. A veces se proporciona aireación en la superficie para controlar los olores. Se desarrollará una corteza impermeable que retiene el calor y los olores si no se proporciona aireación en la superficie [90].

La descarga se encuentra cerca del lado opuesto al afluente. Las lagunas anaeróbicas suelen ir seguidos de estanques aeróbicos o facultativos para proporcionar un tratamiento adicional [90].

La principal desventaja de las lagunas anaeróbicas es que necesitan una gran área de terreno. Otras desventajas incluyen:

- La generación de olores desagradables,
- La dependencia de las condiciones ambientales del lugar: viento, temperatura, nubosidad, etc.

En este caso, se dispone de superficie para su instalación y el predio se encuentra alejado de centros urbanos por lo que se reduce el impacto de olores. Además, se priorizan siguientes ventajas:

- Costos bajos por construcción, operación y mantenimiento
- Buena remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos
- Absorben los picos hidráulicos, cargas orgánicas y compuestos tóxicos

4.1.2.2. Tratamiento aeróbico

La primera alternativa consiste en la construcción de un reactor anóxico y un reactor de lodos activados con aireación extendida y por último, un sedimentador. A continuación, se describe el funcionamiento de cada una y la justificación de su aplicación a este caso.

El método constructivo elegido para los reactores y el sedimentador será el de tipo lagunar (excavación con cobertura de membrana) ya que los materiales y técnicas de construcción se asemejan a los empleados en la construcción de los módulos de relleno sanitario. De este modo, se podrá incurrir en una economía de escala en la mano de obra, maquinaria y compra de materiales para ambas obras entre los que se encuentra la membrana PEAD que recubre tanto a los módulos como a las lagunas.

4.1.2.2.1.Lodos activados con aireación extendida (LAAE)

Las plantas de lodos activados con aireación extendida satisfacen la necesidad de un tratamiento de alta eficiencia para efluentes de bajos caudales de origen tanto doméstico como industrial de alta carga orgánica. Estas plantas suelen estar diseñadas sin tanques de sedimentación primaria y emplean un tiempo de aireación prolongado, con el fin de digerir o destruir aeróbicamente la mayor parte de los lodos biológicos producidos. Por lo tanto, con este tipo de planta no se suelen instalar digestores de lodos biológicos.

Las plantas de LAAE se diseñan normalmente sobre la base de cargas de DBO de no más de 0,30-0,65 kgDBO/m3/d. Con estas cargas, las eficiencias características de remoción de DBO varían de 80 a 95 por ciento [92].

Al igual que el sistema de lodos activados, los LAAE basan su principio de funcionamiento en que la DBO de la materia orgánica presente en el líquido es degradada y estabilizada por microorganismos presentes en el líquido del reactor. Estos microorganismos,

para desarrollar su actividad necesitan oxígeno en cantidades específicas para mantener el ciclo vital.

Aireadores mecánicos aportan el oxígeno necesario para el desarrollo de microorganismos aérobicos capaces de degradar la materia orgánica presente en el efluente. A su vez, los aireadores mantienen en agitación y suspensión a los biosólidos para que estos estén en continuo contacto con el alimento del efluente. En simultáneo, el efluente tratado egresa del reactor hacia el sedimentador.

A su vez, en el mismo reactor aireado se desarrolla el proceso de nitrificación del nitrógeno amoniacal en exceso en el efluente. La nitrificación es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos autótrofos especializados en dos etapas:

1. la oxidación del amonio NH4+ en nitritos NO2-; este es esencialmente el trabajo de las bacterias del tipo *Nitrosomonas* dependiendo de la reacción:
2. oxidación de NO2 a nitratos NO3-; la bacteria responsable de esta segunda reacción pertenece principalmente al género *Nitrobacter*

De ahí, la reacción global de nitrificación es la siguiente:

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2\,H^+ + H_2O$$

(Ec. 6)

Basándose en estas reacciones, el oxígeno necesario para la oxidación completa del nitrógeno amoniacal es de 4,57 g O2 - g-1 N-NH4 oxidado (excluyendo el nitrógeno utilizado para la síntesis).

La cantidad de alcalinidad requerida para la reacción puede ser estimada por la ecuación:

$$NH_4^+ + 2HCO_3^- + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2CO_2 + H_2O$$

(Ec. 7)

Se consumen 7,14 g de alcalinidad (expresada como CaCO3) por g de N-NH4 oxidado. Además, se producen alrededor de 0,17 g de células nuevas por cada g de N-NH4 [93].

4.1.2.2.2. Reactor anóxico

El proceso de desnitrificación, por medio del cual los microorganismos consumen el nitrato presente en el efluente, puede ocurrir según dos vías metabólicas diferentes:

- Asimilación: en la que el nitrato es usado para la síntesis celular. De NO_3^- se obtiene Nitrógeno amoniacal que luego es empleado por las células en la biosíntesis y se asimila a N-orgánico.

- Catabolismo: en la que el nitrato es empleado como aceptor de electrones en la respiración. De NO_3^- se obtiene N_2 gaseoso, permitiendo que el nitrógeno sea eliminado del sistema. El proceso catabólico es llevado a cabo por heterótrofos facultativos (géneros: *Pseudomonas, Paracoccus, Hyphomicrobium, Alcaligenes*, y otros) se utiliza en el tratamiento de aguas residuales.

El orden de energía proporcionada por los aceptadores de electrones se presenta a continuación:

$O_2 > NO_3^- > NO_2^- > Fe_3^+ > SO_4^{2-}$

Así que la anoxia (OD < 0,3 mg/l) es una condición necesaria para la desnitrificación por parte de las bacterias facultativas, que, de lo contrario, utilizarían oxígeno para la producción de energía si este está disponible.

A continuación, se muestra la reacción estequiometria del proceso de desnitrificación (molar) con consumo de materia orgánica (CH_2O).

$$5C + 4\,NO_3^- + 4\,H_2CO_3 \rightarrow 2N_2 + 2\,H_2O + 5\,CO_2 + 4HCO_3^-$$

(Ec. 8)

La siguiente reacción corresponde al proceso de respiración aeróbica:

$$CH_2O + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$$

(Ec. 9)

Si se compara el consumo de aceptores de electrones/gramo de carbohidratos se obtiene la siguiente relación:

1 mol (32g/mol) O_2/0,8 mol (14g/mol) $N\text{-}NO_3^-$ = 2,86 g O2/g $N\text{-}NO_3^-$

Lo anterior indica que cada gramo de nitrato consumido en la respiración (y degradación de materia orgánica) ahorra 2,86 gramos de oxígeno [94] [93].

En cuanto a la alcalinidad, este proceso conlleva a una producción de alcalinidad de 3,57mg/CaCO3/mgNO3-N, lo que representa aproximadamente la mitad de la alcalinidad consumida en el proceso de nitrificación.

Para la oxidación del carbono y nitrificación conjuntas y la desnitrificación anóxica, se emplean zonas de reacción separadas. El efluente ingresa a la zona de desnitrificación anóxica (según averiguaciones con expertos, normalmente ocupa 1/3 del volumen total) a la que se recircula líquido nitrificado desde la siguiente laguna aireada en la que ocurre la oxidación del carbono y la nitrificación. El carbono presente en el efluente se emplea para desnitrificar el nitrato recirculado. Debido a la alta carga orgánica, la desnitrificación tiene lugar rápidamente. El amoníaco contenido en el efluente circula a través de la zona anóxica sin sufrir transformación química para ser nitrificado en la laguna con aireación.

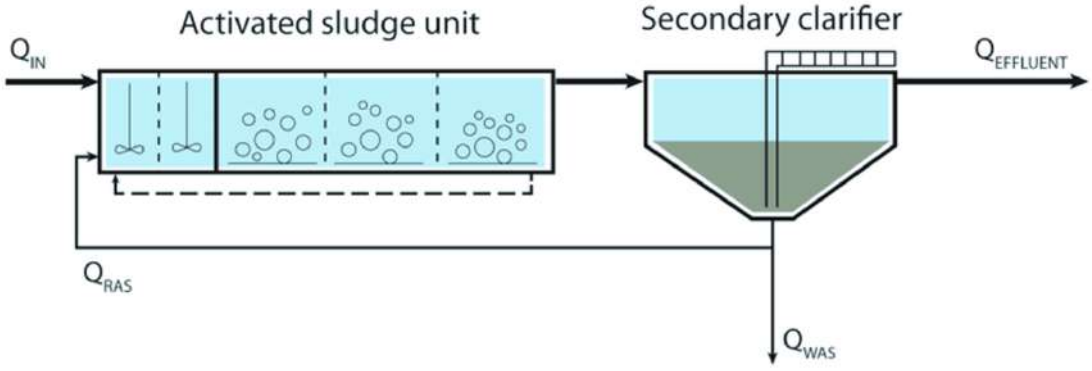


Figura 41. Esquema de tratamiento secundario compuesto por un reactor anóxico, seguido de un reactor aeróbico de barros activados de aireación extendida y un sedimentador secundario. Se indican los caudales de entrada (Qin), salida (Qeffluent), de purga (Qwas), de recirculación de lodos (Qras) y de recirculación interna (Qrint). Fuente: [95]

4.1.2.2.3. Sedimentador

Cómo última instancia de la Alternativa 1, se propone la instalación de un sedimentador para realizar la separación de la biomasa sólida del efluente líquido tratado. El proceso de sedimentación producirá una notable disminución de la concentración de sólidos suspendidos que mejorará los parámetros de DQO y DBO para la entrada del líquido en la etapa siguiente.

A su vez, la sedimentación permitirá aprovechar la biomasa contenida en los barros provenientes del proceso aeróbico, mediante la recirculación de una fracción de los mismos hacia el reactor aireado.

4.1.3. Tratamiento terciario

A la salida del tratamiento secundario de cualquiera de las dos alternativas será necesario instalar un tratamiento terciario capaz de remover la fracción remante de DQO recalcitrante como también remover color y cualquier traza de contaminante no tratado previamente. La tecnología empleada para el tratamiento secundario corresponde a la adsorción por carbón activado granular (CAG).

El proceso de adsorción puede describirse como la transferencia de un soluto en un gas o líquido (adsorbato) hacia la superficie de un sólido (adsorbente) en donde el soluto es retenido como resultado de atracciones intermoleculares con las moléculas sólidas. Como regla general, los solutos más fáciles para adherirse son los compuestos más complejos, molecularmente hablando, y el sólido más usado es el carbón activado. En el proceso de adsorción, se tiende a alcanzar un equilibrio entre la concentración del sustrato y la cantidad de sustancia retenida. Por lo general la cantidad de materia adsorbida se determina como una función de la concentración del adsorbato (C) a temperatura constante (T), llamándose a la función resultante isoterma de adsorción. Las isotermas más utilizadas son las de Freundlich, Langmuir y la de Brunauer, Emmett y Teller (BET). [96]

Según la bibliografía consultada [97, 96, 98], ninguna de las isotermas de adsorción se suele ajustar a los resultados experimentales (los coeficientes de correlación para las isotermas de Langmuir, Freundlich y BET suelen estar por debajo de 0.5). Esto indica que los modelos ensayados no son compatibles con el tipo de adsorción de los lixiviados. Lo anterior se puede explicar porque los modelos utilizados se elaboraron considerando la remoción de una sola sustancia y no una mezcla de sustancias, como es el caso de los lixiviados.

Las eficiencias de remoción de los filtros de CAG de DQO y de color se encuentran entre 60 -90% y 70-80% respectivamente [97, 96, 98].

4.1.4. Deshidratación de lodos

En ambas alternativas, periódicamente se realizará una extracción de lodos para su deshidratación. La deshidratación permite ampliar la capacidad de almacenamiento de lodos, y reducir gastos de logística y disposición de los mismos al no depender de los camiones atmosféricos.

Se propone instalar en ambas Alternativas un deshidratador de lodos por anillas móviles por su accionamiento automático, controlado por un tablero que comanda el propio equipo y todos los periféricos. Al ser un conjunto completamente cerrado, y de limpieza

automática, la instalación es virtualmente libre de olores y el operario no requiere tomar contacto con los lodos.

Figura 42. (Izq.) Multi-Disc Prensa de tornillo Deshidratador Tsurumi serie MDQ. (Der.) Vista superior de las anillas móviles del tornillo deshidratador [99].

4.1.4.1. Principio de Funcionamiento del equipo deshidratador

El barro purgado es enviado mediante una bomba apta para lodos a una primera cámara del equipo Tsurumi MDQ donde se incorporan coagulante y floculante. Gracias a esta dosificación y la acción de un floculador lento, se logra la formación de flóculos. El efluente ya floculado, ingresa al deshidratador propiamente dicho.

Dentro del equipo, un tornillo de tipo Arquímedes gira y desplaza el barro floculado por dentro de una estructura filtrante conformada por anillas o discos fijos y discos móviles que se colocan uno al lado del otro con una cierta holgura para que el líquido pase filtrado a través de los espacios libres.

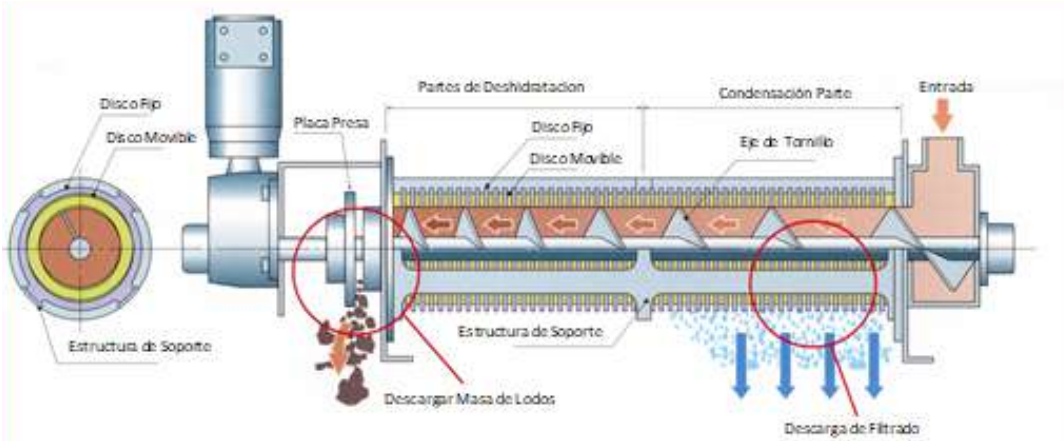


Figura 43. Diagrama de corte del tornillo de discos móviles [99].

El proceso puede separarse en dos zonas, una primera zona de entrada de barro donde el agua escurre libremente entre las ranuras, mientras los sólidos son transportados hacia la tolva de descarga, y una segunda sección donde el barro es deshidratado y comprimido contra una placa prensa, para finalmente descargar la masa de lodo.

4.2. Alternativa 2

El diagrama de bloques con los procesos que integran la alternativa 1 se presentan en la Figura 44.

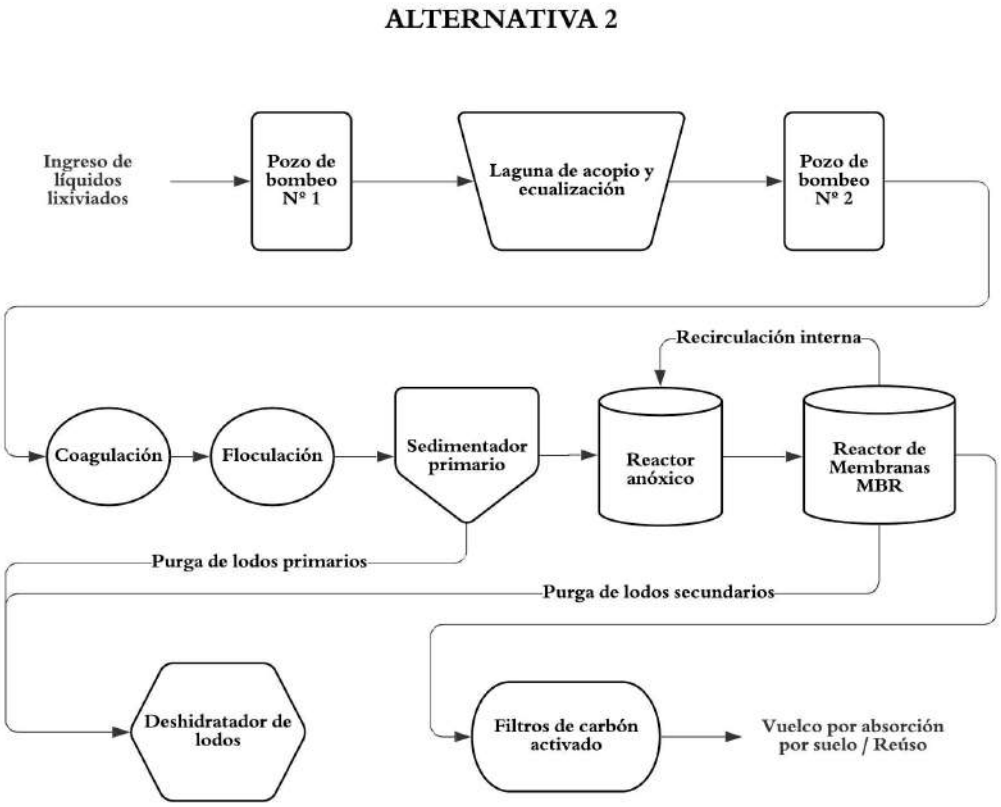


Figura 44. Diagrama de bloques de la Alternativa 2.

4.2.1. Pretratamiento

La segunda alternativa contempla una tecnología más avanzada y más compacta. Por la implementación de un tratamiento primario con procesos unitarios que requieren de un flujo constante, se empleará además del mismo pozo de bombeo de la alternativa 1, una laguna de ecualización. La función de la misma es la regulación tanto de carga como de caudal de lixiviado a la entrada de la planta.

Debido a la elevada variabilidad de la calidad y cantidad de los lixiviados, esta unidad resulta esencial para disipar picos de concentraciones y caudales como también garantizar la alimentación constante en épocas secas y en las transiciones de estaciones.

Para mantener al mínimo las cargas máximas en la planta de tratamiento de lixiviados, y por lo tanto la inversión requerida, el ecualizador se diseña teniendo en cuenta la variabilidad de la generación de lixiviados durante el año. Por medio del diagrama de volúmenes acumulados (medio versus real), se estima el volumen necesario para compensar las variaciones de caudal.

Los ecualizadores de plantas de lixiviados operados por CEAMSE no suelen disponer de mezcladores o aireadores, ya que en parte se los emplea como sedimentadores primarios [13]. En este caso, no se respetará ese criterio, sino que se instalará un mezclador superficial para que dicha laguna no resulte ser de sacrificio. La remoción de sólidos se realizará en el tratamiento primario, detallado a continuación.

4.2.2. Tratamiento primario

La coagulación-floculación se utiliza ampliamente como pretratamiento en el tratamiento de lixiviados cuando la concentración de SST es elevada [56]. Puede ser empleado antes del tratamiento biológico o de la etapa de ósmosis inversa, o como etapa de tratamiento final de pulido para eliminar la materia orgánica no biodegradable. El sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico y el clorosulfato férrico se utilizaban comúnmente como coagulantes.

Las impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración.

La coagulación es un proceso en el cual se agregan coagulantes para eliminar la doble capa eléctrica de los coloides (generalmente negativos en este tipo de plantas). Una vez descargadas se intenta que los flocs generados se aglomeren entre sí, se transformen en flocs de mayor diámetro (floculación) y luego sedimenten.

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

— El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

— El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, cantidad de partículas, etcétera. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida [100].

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración [100].

4.2.3. Tratamiento secundario

El sistema biológico propuesto en la Alternativa 2 consiste en el reemplazo del sistema de lodos activados y del sedimentador por un sistema biológico conocido como biorreactor de membrana (MBR, por sus siglas en inglés).

Los MBR son sistemas muy compactos que trabajan con una alta concentración de biomasa y logran una baja producción de lodo con una excelente calidad de efluente, apta para reúso (riego, lavado de camiones, descarga de inodoros, etc.). Los MBR se han aplicado ampliamente a gran escala en el tratamiento de efluentes industriales y algunas plantas se han adaptado al tratamiento de lixiviados [56]. En la Argentina, tanto la planta de lixiviados del Complejo Ambiental Norte III (José León Suarez) como la del complejo de Mar del Plata cuentan con esta tecnología, de corriente lateral (sMBR).

La tecnología MBR se basa en la combinación del tratamiento convencional de lodos activados junto con un proceso de filtración a través de una membrana con un tamaño de poro de entre 10 nm y 0,4 micrones (micro/ultrafiltración), que permite la separación de los lodos. La membrana actúa como una barrera que retiene todas las partículas, coloides, y bacterias (no así de virus), proporcionando una desinfección parcial del agua tratada. Además, puede funcionar a concentraciones más altas de biomasa (hasta 15 g/l en lugar de los 4 g/l habituales en los sistemas convencionales), lo que reduce considerablemente el volumen de los reactores y la producción de lodo [78]. A su vez, no es necesaria la instalación de una unidad de sedimentación ya que la separación de sólidos se realiza por medio de la filtración.

Los MBR tienden a generar aguas tratadas de mayor pureza con respecto a los constituyentes disueltos como la materia orgánica y el amoníaco, que son eliminados significativamente por el tratamiento [65]. Sin embargo, el ensuciamiento (fouling) de la membrana se considera el principal inconveniente, debido a la interacción entre la membrana y los agentes de fouling, lo que lleva al deterioro de la eficiencia de la membrana.

A pesar de ello, los MBR tienen múltiples ventajas frente a un sistema convencional: producen menos lodos que un sistema de biomasa en suspensión, conforman una estructura más compacta con una alta concentración de biomasa, producen un efluente de alta calidad, son una tecnología versátil que puede tratar tanto los lixiviados de vertedero viejos como los jóvenes y son eficaces en la eliminación de microcontaminantes orgánicos.

Aunque hay dos configuraciones principales de proceso de los MBR, inmersa (iMBR) y de corriente lateral -o sidestream- (sMBR), la configuración inmersa es la más utilizada en el tratamiento de efluentes debido a los menores costos de operación asociados. En esta configuración, el módulo se coloca directamente en el tanque de proceso. Como resultado, para lograr la filtración sólo es necesario crear un ligero vacío en el interior del módulo de membrana, medido como presión transmembrana (TMP). Para la configuración inmersa, hay dos tipos de módulos de membrana comerciales disponibles: laminar (FS, flat sheet), comercializada principalmente por Kubota, y de fibra hueca (HF, hollow fiber) como las suministradas por GE Zenon o Mitsubishi Rayon. Las membranas de fibra hueca permiten una mayor densidad de filtrado ya que tiene un espacio más delgado entre las membranas en comparación con las laminares. Sin embargo, esto las hace más susceptible a la obstrucción de las membranas y/o al lodo, y también puede hacer que la limpieza sea más difícil. En lo que respecta al material de la membrana utilizado para un iMBR, los polímeros fluorados y sulfonados dominan en los productos comerciales de MBR de membrana [78].

4.2.3.1. Flujo

El flujo (normalmente denominado J) es la cantidad de fluido que pasa a través de un área unitaria de la membrana por unidad de tiempo. Esto significa que toma unidades del Sistema Internacional de m3/m2/s, o simplemente m s1, y se denomina ocasionalmente permeado o velocidad de filtración. Otras unidades no del SI utilizadas son los litros por m2 por hora (o LMH) y m/día, que tienden a dar números más accesibles: Los MBR generalmente operan con flujos entre 10 y 100 LMH. El flujo se relaciona directamente con la fuerza motriz (es decir, el TMP para los MBR convencionales) y la resistencia hidráulica total que ofrece la membrana y la región interfacial adyacente a ella [79].

4.2.3.2. Sistemas de Filtración por Succión y por Gravedad

En el sistema de filtración por gravedad, una presión hidrostática reducida (mínimo 0,5 m sobre el módulo de membrana) es suficiente para llevar a cabo el proceso de filtración. La ventaja principal es la reducción de los costos de capital y operación ya que no se requieren bombas para mantener el flujo constante. Las operaciones de mantenimiento son sencillas y la calidad del permeado, así como el caudal, puede medirse en cada módulo por separado. El sistema de filtración por gravedad requiere de un determinado perfil hidráulico para su funcionamiento.

El sistema de filtración por succión incluye bombas de aspiración. El sistema es apropiado cuando la presión hidrostática disponible sea insuficiente (como puede ocurrir en aplicaciones de retrofiting), o bien cuando se requiera un mayor nivel de control sobre el proceso. Como alternativa a ser operadas de forma continuada, el funcionamiento de las bombas puede reducirse a la puesta en marcha del MBR para producir un efecto de vacío o sifón. Este sistema de denomina operación GAB (Gravedad Asistida por Bombas).

4.2.3.3. Pretratamiento para MBR

Un pretratamiento adecuado es fundamental para el correcto funcionamiento de cualquier MBR. La presencia de fragmentos sólidos, fibras en el interior de los tanques de membrana debe ser evitada en todo momento ya que podría resultar en cartuchos dañados o en una mengua del rendimiento. Con el fin de evitarlo debe instalarse un tamiz de 1 mm uni-direccional.

Debido a que los módulos de membrana de fibra hueca (HF) son por lo general más propensos a obstruirse – y el impacto es más severo – los tamices para dichos productos son por lo general de 0.8 a 1.5mm. Los módulos de membrana de placa plana (Kubota), a pesar de no ser sometidos a retro-lavados son más tolerantes a las obstrucciones por lo que tamices de 2-3 mm son por lo general adecuadas [79].

Por último, la necesidad de retirada de aceites y grasas así como la eliminación de finos vendría especificado por el diseño de la planta, en función de la naturaleza del agua residual a tratar. En el caso de Kubota, los SSEE no deben superar un 15% de la DBO del afluente.

Como resultado, el agua tratada posee una excelente condición, apta para reúso en lavabos, agua de incendios, para servicios, riego, etc., dependiendo la necesidad, o vuelco a cuerpos superficiales.

4.2.1. Tratamiento terciario

Referirse a la sección 4.1.3.

4.2.1. Deshidratación de lodos

Referirse a la sección Deshidratación de lodos4.1.4.

4.3. Resumen de diferencias entre tecnologías

En la siguiente Tabla 32 se presenta un resumen de las principales diferencias entre ambas tecnologías de tratamiento biológico aeróbico propuestas.

Tabla 32. Comparación de tecnologías MBR y Lodos Activados de Aireación extendida.

Criterio	Reactor de Membranas (MBR)	Lodos Activados de Aireación Extendida (LAAE)
Edad de lodos	Elevada.	Elevada
Concentración de biomasa	Se encuentra en el rango de 8 a 15 g/l.	Se encuentra en el rango de 3 a 6 g/l.
Espacio requerido	Al eliminar el sedimentador y tener mayor concentración de biomasa dentro del reactor, el volumen requerido es hasta 3 veces meno. Esto implica menor obra civil y área de implantación.	Al tener una concentración de biomasa mediana, el volumen requerido es grande.
Sedimentador	Se elimina la necesidad ya que se reemplaza por el reactor de membranas, que puede estar dentro del reactor aireado o separado.	Se requiere una unidad con características específicas separada del reactor.
Problemas de sedimentación	Se eliminan dado que el líquido tratado sale por filtración.	Pueden ocurrir por exceso de caudal (arrastre de sólidos), presencia de filamentosas que dificulten la sedimentación exceso de sólidos, etc.
Calidad del efluente tratado	Dado a que el efluente sale por filtración, la calidad es comparable a un tratamiento terciario.	La calidad depende de la etapa de sedimentación. Requiere tratamientos posteriores para su reúso.
Estabilidad	Al poseer gran concentración de biomasa posee gran estabilidad frente a shocks de carga, caudal o sustancias nocivas.	Limitada, no tolera picos pronunciados de caudal, carga ni o sustancias nocivas.
Producción de lodos	Reducida	Media

CAPÍTULO 5. Memoria de cálculo

En esta sección se describe los cálculos de diseño para todas las unidades de la planta de tratamiento de efluentes de lixiviados. Para cada una de las unidades, la información se ordena en: **Datos de partida**, **Parámetros de diseño**, **Cálculos** y **Resultados.**

5.1. Bombeo

5.1.1. Casetas de bombeo

Las casetas de bombeo estarán ubicadas en el punto más bajo de cada uno de los sectores de los módulos del relleno sanitario. Cada caseta contará con una bomba conectada al colector que enviará el lixiviado a la estación impulsora. Un colector recibirá los lixiviados y los transportará por gravedad hasta la estación de impulsión. El cálculo de las casetas y sus bombas están excluidas del alcance de este proyecto.

5.1.2. Estación de impulsión

El lixiviado proveniente de casetas de bombeo de los módulos se concentrarán en la estación impulsora (o pozo de bombeo) ubicada en un punto bajo del predio y se bombeará a la planta de tratamiento de líquidos lixiviados.

i. Desbaste

La estación impulsora dispondrá de una reja canasto con una separación entre barrotes de 15 mm, la cual irá acumulando sólidos, hasta que se decida su limpieza. Para esta operación, se izará la reja canasto a la superficie, en donde podrá descargarse por el fondo sobre un contenedor dispuesto a tal fin.

ii. Ecualización

Datos de entrada

Los valores del sistema se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Datos de entrada para la ecualización y volumen de pozo de bombeo.

Variable	Unidad	Valor
Caudal Mínimo	(m3/d)	40
Caudal Medio	(m3/d)	45
Caudal Máximo	(m3/d)	65

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Parámetros de diseño para la ecualización del pozo de bombeo.

Parámetro	Unidad	Rango	Valor adoptado
Potencia de mezcla requerida (P)	W/m3	10-80	55
Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH)	d	0,5-5	1

La potencia requerida para mantener los sólidos en suspensión se tomó como referencia la indicada por Grundfos en su catálogo de mezcladores, cuyo gráfico se encuentra en la Figura 45. En el mismo se grafica la potencia necesaria por m3 en función del volumen del reactor a agitar. La aplicación 1 corresponde a reactores de lodos activados, selectores, reactores anóxicos y anaeróbicos. La aplicación 2 corresponde a zonas con lodos primarios (<3%), secundarios (<6%) y digeridos (<8%). La aplicación 3 está indicada para pozos de bombeo sin desbaste y la 4 para pozos con efluentes que contengan arenas. En este caso, se adopta el caso 3 a pesar de si contar con un desbaste para tener una condición conservadora.

Se adopta un TRH de 1 día de manera de homogeneizar fluctuaciones de caudal y carga diarias. Las fluctuaciones restantes podrán ser soportadas por la laguna anaeróbica posterior.

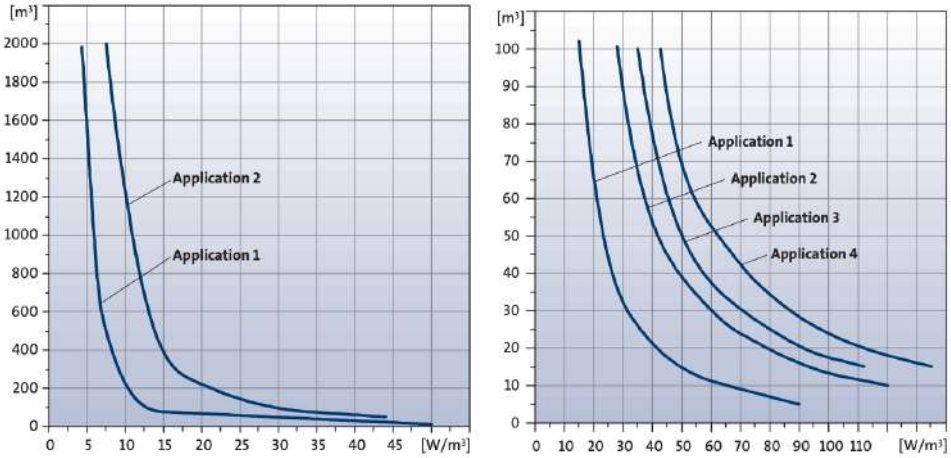


Figura 45. Curvas de potencia por volumen para la mezcla de reactores cuadrados o circulares. Fuente: [101]

Cálculos

Para la estimación del volumen útil (V) del pozo de bombeo se utilizó la siguiente ecuación:

$$V(m3) = TRH \; x \; Q_m \qquad \text{(Ec. 10)}$$

Donde:

TRH = tiempo de residencia hidráulico (d)

Qm = caudal medio (m3/d)

Para la estimación de la potencia requerida se utilizó la siguiente ecuación:

$$P(kW) = \frac{Pe_{A2}\ x\ V}{1000}$$

(Ec. 11)

Donde:

Pe_{A2} = Potencia específica para la aplicación 2 (W/m3)

V = volumen útil del pozo de bombeo (m3)

Resultados

Los resultados de volumen y potencia requeridas para el pozo de bombeo se presentan en la Tabla 35.

Tabla 35. Resultados de la ecualización del pozo de bombeo.

Parámetro	Unidad	Resultado
Volumen de pozo de bombeo	m3	45
Potencia requerida de mezclador	kW HP	2,5 3,3

Se opta por dividir la potencia en dos unidades electromecánicas para distribuir mejor la mezcla y poder independizar su funcionamiento de acuerdo al caudal ingresante. Se deberán instalar 2 unidades del modelo seleccionado Grundfos AMD.15.45B.710 de 1,5 kW, de las siguientes características (Tabla 36).

Tabla 36. Especificaciones técnicas de los equipos mezcladores.

Especificaciones	Unidad	Valor adoptado
Modelo	-	AMD.15.45B.710
Marca	-	Grundfos
Cantidad	-	2
Potencia de salida	kW	1,5
Potencia de entrada	kW	3,21
Voltaje	V	400
Fase	-	3
Frecuencia	Hz	50
Número de polos	-	8
Arranque	-	S1, Delta
Velocidad de impulsor	Min-1	690
Corriente de inicio	A	26,7
Capacidad	M3/h	1058
Materiales principales	-	Acero Inoxidable

iii. Bombeo

Datos de entrada

Los valores del sistema se presentan en la Tabla 37. La altura geométrica a la que se tiene que bombear es de 4 m y las pérdidas de carga son de 8 metros.

Tabla 37. Caudales y distancias de bombeo.

Variable	Unidad	Valor
Caudal Mínimo	(m3/d)	40
Caudal Medio	(m3/d)	45
Caudal Máximo	(m3/d)	65
Altura geométrica	m	4
Pérdidas de carga	m	8

Parámetros de diseño

Para la selección del modelo de bombas se tiene en cuenta que las mismas deben contar con las características presentadas en la Tabla 38.

Tabla 38. Criterios de selección de bombas.

Variable	Unidad	Valor
Tipo de bomba	-	Centrífuga sumergible
Tipo de impulsor	-	Cortador
Caudal de bombeo máximo	m3/min	0,05
Altura de bombeo	m	12

Se seleccionó la bomba de la marca Tsurumi a partir del análisis de las curvas para la serie NHC sumergible de impulsor cortador presentada en la Figura 46.

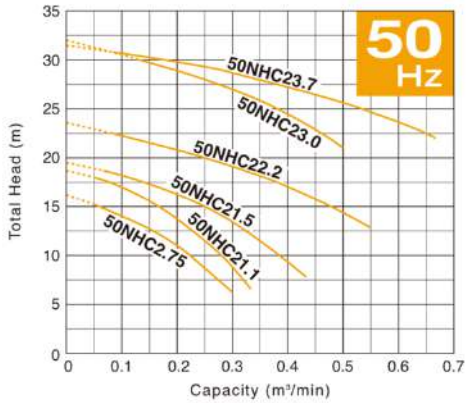


Figura 46. Curvas de funcionamiento de bombas Tsurumi serie NHC.

Resultados

Se deberán instalar 2 bombas Tsurumi serie NHC modelo TOS50NHC2.75 de las siguientes características (Tabla 39).

Tabla 39. Especificaciones técnicas de las bombas del pozo.

Especificaciones	Unidad	Valor adoptado
Modelo	-	TOS50NHC2.75
Marca	-	Tsurumi
Cantidad	-	2
Potencia unitaria	kW	0,75
Voltaje	V	380
Fase	-	3
Frecuencia	Hz	50
Número de polos	-	2
Velocidad nominal	rpm	3000
Arranque	-	Directo
Tipo impulsor	-	Monocanal semiabierto con cortador deslizante
Caudal de trabajo	m3/min	0,075
Altura de bombeo	m	14
Diámetro de descarga	mm	50
Anclaje	-	Sistema TOS incluido
Material de cuerpo e impulsor	-	Fundición gris de alta calidad

El caudal de bombeo supera el caudal máximo ya que este se ubica en el límite inferior de funcionamiento de bombas comerciales. De todas formas, esto no resulta en un inconveniente.: una sola bomba pueda evacuar todo el efluente de situaciones pico en muy poco tiempo. En situaciones promedio, la bomba no estará funcionando las 24 horas del día. Se contempla una segunda bomba instalada de reserva que funcionará en forma alternada con la primera para que el desgaste mecánico sea parejo. Además, la presencia de la segunda unidad permitirá dejar el pozo operativo en caso de requerir reparar una de las dos bombas.

Las bombas incluirán un sistema de barras guía para poder sacarlas en caso de mantenimiento sin necesidad de vaciar el tanque. El arranque y parada de bombas se realizará por medio de boyas de nivel.

iv. Conducciones:

El líquido ingresará a la estación impulsora a través de una tubería de inoxidable de 50 mm de diámetro. Cada bomba tendrá una tubería de salida de 2 pulgadas de diámetro y contará

con una válvula de retención a bola de 2" de diámetro y válvula exclusa de 2" de diámetro montadas fuera de la estación. Ambas bombas se unirán en un manifold con descarga bridada para conexión de cañería de PVC Ø 90 mm la cual enviará el líquido lixiviado a la primera unidad de la planta de tratamiento.

5.2. Alternativa 1

5.2.1. Laguna Anaeróbica

Para el diseño de las lagunas anaeróbicas se utilizó el modelo de dimensionamiento adoptado para México por la Comisión Nacional del Agua disponible en [91]. El diseño se basa en tasas de carga orgánica volumétrica que varían según la temperatura local (del mes más frío).

Otro método radica en la aplicación de tiempos de residencia hidráulica derivadas de estudios de plantas piloto u observaciones de sistemas operativos existentes.

Datos de entrada

Las principales consideraciones que se han tomado en cuenta al diseñar las lagunas se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Datos de entrada para el diseño de las lagunas anaeróbicas.

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal medio diario, Q_m	m3/d	45
Concentración media de DBO de afluente, $S_{a,an}$	mg/l	10.000
Temperatura mínima promedio, T_{min}	ºC	12

Parámetros de diseño

En la Tabla 41 se presentan los rangos sugeridos por [91] para el diseño de lagunas anaeróbicas.

Tabla 41. Parámetros de diseño para lagunas anaeróbicas. Fuentes: [91], *CEAMSE González Catán [61], CEAMSE Mar del Plata + [13]

Parámetro	Unidad	Rango de diseño
TRH	d	20-50 (65*,150+)
Profundidad	m	2,5-5,0
Temperatura de operación (Temperatura ideal)	ºC	6 a 50 (20-30)
Remoción	%	40-85
Carga volumétrica (COV)	gDBO/m3/d	100-300
pH	upH	6,5 – 7,2
Conversión		CO_2, CH_4, tejido celular bacteriano
Concentración de algas	mg/l	0 - 5
Sólidos suspendidos en el efluente	mg/l	80 - 160

Según [91], la carga orgánica volumétrica (COV) y la eficiencia de remoción de las lagunas anaerobias están determinada por la temperatura mínima promedio. En la Tabla 40 se presentan los valores según los rangos de temperatura.

Tabla 42. Valores de diseño para cargas volumétricas en función de la temperatura.
Fuente: [91]

Temperatura, °C	COV (g DBO5 /m3 -día)	Remoción del DBO %
<10	100	40
10 - 20	20Tmin-100	2Tmin+20
>20	300	60

Cálculos

La COV (g DBO5 /m3/día) se determinó según la ecuación correspondiente al rango de temperatura adecuada para Necochea:

$$COV = 20Tmin - 100$$

(Ec. 12)

Donde:

Tmin = temperatura mínima promedio (ºC)

La remoción de DBO que podrá tener el sistema a Tmin se define según:

$$\eta = 20Tmin + 20$$

(Ec. 13)

Para estimar el volumen de la laguna se aplica:

$$V = CO/COV$$

(Ec. 14)

Donde:

CO= carga orgánica (gDBO/d) del sistema. Se determina según el siguiente cálculo:

$$CO = Q \cdot S_{in,an}$$

(Ec. 15)

Donde:

Q = caudal medio (m3/d)

S = concentración de DBO5 en afluente (mg/l)

La superficie mínima de la laguna se determina según la profundidad seleccionada:

$$Ar = V/h$$

(Ec. 16)

Donde:

h= profundidad útil de laguna

La superficie real que ocupará la laguna se determinará teniendo en cuanta la geometría de pirámide truncada, cuyo volumen se estima a partir de:

$$V = \frac{h}{3}\left(A_{sup} + A_{inf} + \sqrt{A_{sup} \cdot A_{inf}}\right)$$

(Ec. 17)

Donde:

Asup= Área superior

Ainf= Área inferior

Resultados

La primera estimación arrojó los resultados que se presentan en la siguiente Tabla 43.

Tabla 43. Resultados preliminares del diseño de lagunas anaeróbicas.

Parámetro	Unidad	Resultado
COV	g DBO/m3/d	144
Remoción	%	44
CO	g DBO/m3/d	450.000
V	m3	3214
TRH	d	71

Para favorecer el mantenimiento de las lagunas, se decidió dividir el caudal en 2 y adoptar una configuración de 2 lagunas en paralelo. Lo anterior no reduce el TRH de cada laguna, pero aun así el valor obtenido se considera aceptable ya que hay experiencias en Argentina [61] [13] que avalan rangos superiores a los especificados por [91]. A continuación, se presentan los resultados obtenidos (Tabla 44).

Tabla 44. Resultados finales del diseño de lagunas anaeróbicas en paralelo.

Parámetro	Unidad	Resultado
CO (de cada laguna)	g DBO/m3/d	225.000
V (de cada laguna)	m3	1607
TRH (de cada laguna)	d	71

Las dimensiones de cada una de las 2 lagunas anaeróbicas se presentan en la Tabla 45.

Tabla 45. Dimensiones de cada laguna anaeróbica.

Parámetro	Unidad	Resultado
Cantidad de lagunas	-	2
Configuración	-	Paralela
Geometría	-	Cuadrada
V útil	m3	1730
V total	m3	2220
Superficie a nivel pelo de agua	m2	900
Superficie a nivel de fondo	m2	100
Ancho y Largo superior	m	30
Ancho y Largo inferior	m	10
Profundidad útil	m	4
Revancha de altura	m	0,5
Pendiente talud	m/m	1:2,5
Construcción	-	Semienterrada
Cota de fondo	m	3

El tiempo de residencia hidráulico ajustado al volumen útil final y el caudal de tratamiento por laguna se presentan en Tabla 46. La concentración de salida de los contaminantes de las dos lagunas se presenta en la Tabla 47.

Tabla 46. Parámetros hidráulicos de las lagunas anaeróbicas.

Parámetro	Unidad	Resultado
TRH por laguna	d	77
Caudal por laguna	m3/d	22,5

La estimación de la DQO se realizó teniendo en cuenta un aumento de la relación DBO/DQO debido a la deposición de solidos recalcitrantes en el fondo de la laguna anaeróbica. Se asumió una relación de 0,65 DBO/DQO resultando en una concentración de DQO final de 8615 mg/l. Las concentraciones de nutrientes no sufren cambios significativos ya que la remoción de N y P no es favorecida en condiciones anaeróbicas.

Tabla 47. Concentraciones de contaminantes a la salida de las lagunas anaeróbicas.

Parámetro	Unidad	Resultado
DBO5	mg/l	5.600
DQO	mg/l	8.615
NTK	mg/l	2000
N-NH4	mg/l	1600
P Total	mg/l	90

Las lagunas serán cubiertas con material impermeable y apto para la concentración de gases corrosivos. Tendrán 4 caños de ingreso para promover la distribución uniforme del líquido y evitar cortocircuitos. La frecuencia de dragado de sólidos dependerá de su formación y deberá ser monitoreada en forma semestral. Los plazos típicos varían entre de 2 a 4 años. En la Figura 47 se presenta la configuración esquematizada de las lagunas anaeróbicas en paralelo.

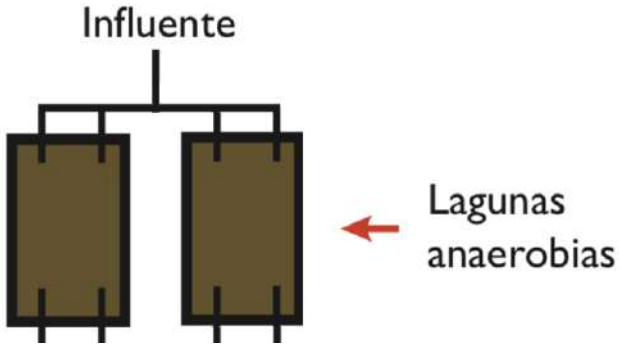


Figura 47. Configuración de lagunas anaeróbicas. Fuente: adaptado de [91].

Aclaración

Otro método de cálculo de lagunas anaeróbicas radica en la aplicación de tiempos de residencia hidráulica derivadas de estudios de plantas piloto u observaciones de sistemas

operativos existentes. Para el caso de lixiviados, las lagunas anaeróbicas relevadas de la Argentina presentan tiempos de residencia hidráulica entre 120 y 150 días [61] [13]. Dichos tiempos exceden los rangos de diseño tradicionales para lagunas y se estima que son empleados para reducir la frecuencia de limpiezas de sólidos depositados.

5.2.2. Bombeo intermedio

Para elevar el líquido desde las lagunas semienterradas hasta el reactor de lodos activados, se contempla la instalación de un pozo de bombeo intermedio. Dicho pozo recibirá por gravedad el efluente de ambas lagunas anaeróbicas en paralelo e impulsará, en una única cañería, el efluente hacia la entrada del reactor biológico.

Datos de entrada

Para seleccionar los modelos de bombas adecuados se emplearon los valores de entrada de la Tabla 48. La altura geométrica a la que tiene que bombear es de 8 m y las pérdidas de carga de 2 metros, es decir, un total de 10 metros.

Tabla 48. Datos de partida para el sistema de bombeo intermedio.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65
Caudal Medio	Q_{med}	m3/d	45
Pérdida de carga	Hf	m	2
Altura vertical	Hz	m	8

Parámetros de diseño

Para la selección del modelo de bombas se tiene en cuenta que las mismas deben contar con las características presentadas en laTabla 49.

Tabla 49. Criterios de selección de bombas.

Variable	Unidad	Valor
Tipo de bomba	-	Centrífuga sumergible
Tipo de impulsor	-	Monocanal
Caudal de bombeo máximo	m3/min	0,05
Caudal de bombeo medio	m3/min	0,03
Altura de bombeo	m	10

Se seleccionó el modelo de bomba de la marca Tsurumi a partir del análisis de las curvas para la serie B sumergible de impulsor monocanal presentada en la Figura 51.

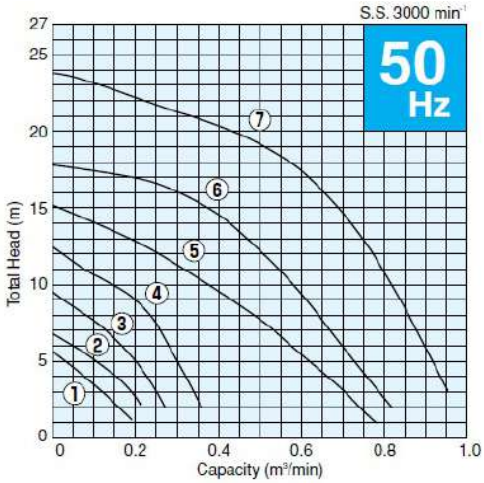


Figura 48. Curvas de funcionamiento de bombas Tsurumi serie B.

Resultados

Se instalarán 2 bombas Tsurumi serie B modelo TOS50B2.75, una en operación y otra en reserva, que funcionarán en forma alternada para que su desgaste mecánico sea parejo. Las bombas contarán con sistema de izaje para facilitar su retiro y mantenimiento. Las bombas tendrán las siguientes características (Tabla 50).

Tabla 50. Especificaciones técnicas de las bombas del pozo.

Especificaciones	Unidad	Valor adoptado
Modelo	-	TOS50B2.75
Marca	-	Tsurumi
Cantidad	-	2
Potencia unitaria	kW	0,75
Voltaje	V	380
Fase	-	3
Frecuencia	Hz	50
Número de polos	-	2
Velocidad nominal	rpm	3000
Arranque	-	Directo
Tipo impulsor	-	Monocanal semiabierto
Caudal de trabajo	m3/min	0,03
Altura de bombeo	m	11
Diámetro de descarga	mm	50
Anclaje	-	Sistema TOS incluido
Material de cuerpo e impulsor	-	Fundición gris de alta calidad

5.2.3. Lodos activados

Datos de entrada

Los datos de entrada al sistema de lodos activados y los parámetros de salida requeridos por la normativa se presentan en la Tabla 51.

Tabla 51. Valores adoptados para el diseño del reactor aireado.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio diario	Q	m3/d	45
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	5600
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Eficiencia de remoción de la DBO_5	η	%	97

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del reactor aireado se presentan a continuación.

Tabla 52. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del reactor de lodos activados con aireación extendida. Fuentes: [88], * [61] + [13].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño
Tiempo de residencia celular	θc	d	20-30
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	d	0,75-1,5 // 8-10+*
Sólidos Suspendidos Volátiles	Xv (o SSV)	mg/l	3000-6000
Relación Sólidos Volátiles contra Totales	SSV/SST	mg/l/mg/l	0,80-0,90
Coeficiente producción	Y	mg/mg	0,5
Coeficiente de producción neto/observado	Yobs	mg/mg	0,2-0,3
Coeficiente destrucción	Kd	1/day	0,055
Carga volumétrica	Cv	kgDBO/m3/d	0,16-0,40
Relación Alimento/Microorganismos	F/M	mgDBO/mgSSV	0,05-0,2
Caudal recirculación/Caudal diseño	Qr/Q	-	0,5-1,5

Cálculos

Se determinó el volumen del reactor aeróbico a través de la siguiente ecuación derivada del balance de biomasa para lodos activados de un reactor de mezcla completa con recirculación, según [88].

$$V = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S)}{X_V (1 + K_d \theta_c)}$$

(Ec. 18)

Donde:

θ: Tiempo de residencia celular (d)

Q: el caudal de diseño (m3/d)

Y: Coeficiente de producción (mg/mg)

S0: Concentración de sustrato (DBO) en ingreso a reactor (mg/l)

S: Concentración de sustrato (DBO) en salida de reactor (mg/l)

Xv: Concentración de biomasa (o volátiles) presente en el reactor (mg/l)

Kd: Constante de destrucción celular (d-1)

Los valores adoptados se presentan en la Tabla 53. Todos los valores respetan los rangos establecidos en bibliografía para aireación extendida y la información disponible de sistemas de tratamiento de lixiviados existentes en Argentina [13].

El tiempo de residencia hidráulico requerido (TRH) para la remoción de carbono se define como el cociente del volumen sobre el caudal, según:

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

(Ec. 19)

5.2.3.1. Relación F/M

Una vez dimensionado el reactor, se calcula la relación F/M, parámetro utilizado para determinar la concentración de volátiles (Xv) necesaria en el reactor a una tasa de carga (S_0) particular.

Dicha relación es el cociente entre el alimento S_0 (F, por su sigla en inglés "Food") y los microorganismos (Xv). Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F/M = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X_V{}'}$$

(Ec. 20)

Donde:

Xv' es la concentración de biomasa en el reactor para cumplir con la operación óptima (puede diferir de Xv utilizada para diseñar el volumen).

Como el volumen, el caudal y el sustrato son independientes a la operación de la planta, el único parámetro a ajustar para cumplir con el rango óptimo es el Xv, que se regula con el caudal de recirculación de lodos (Qr).

5.2.3.2. Recirculación de lodos

La recirculación de lodos se realizará desde el sedimentador hacia el reactor aireado (anóxica). A partir del balance de masa en los reactores anóxicos y aireados, se puede determinar el caudal de recirculación de lodos según:

$$Q_r = Q \frac{X_V}{X_r - X_V}$$

(Ec. 21)

Donde:

Qr es el caudal de recirculación,

Q es el caudal de diseño,

Xv' es la concentración de volátiles en el reactor aireado

Xr es la concentración de volátiles en la recirculación

La tasa de recirculación de lodos (R_L) se define como:

$$R_L = \frac{Q_R}{Q}$$

(Ec. 22)

5.2.3.3. Carga volumétrica

La carga volumétrica se estima a partir de:

$$COV = \frac{CO}{V}$$

(Ec. 23)

5.2.3.4. Purga de lodos

Asumiendo que la concentración de sólidos en efluente del decantador es despreciable, el caudal de purga (Qp, m3/d) puede estimarse a través de la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{V \cdot X_V'}{\theta_c \cdot X_r}$$

(Ec. 24)

La producción de volátiles (Px, kg/d) se estima a partir de:

$$P_X = \frac{Y_{obs}\ Q\ (S_0 - S)}{1000\ \left(\frac{g}{kg}\right)}$$

(Ec. 25)

Donde:

Yobs: es el coeficiente de producción de lodos neto

La masa de sólidos volátiles purgados del sistema (Xp) se estima a partir de:

$$X_p = Q_p X_r$$

(Ec. 26)

Resultados

Los parámetros cinéticos para el cálculo se presentan en la Tabla 53. Los resultados del dimensionamiento del reactor biológico se presentan en la Tabla 54 y los valores obtenidos para la correcta operación del tratamiento se presentan en la Tabla 55.

El volumen del reactor se estimó según la ecuación de cinética y se obtuvo un valor de 385 m3 de volumen útil. El tiempo de residencia hidráulico resultante supera los rangos establecidos para aireación extendida para efluentes tradicionales, pero se encuentra dentro del rango empleado por la firma TECSAN para el diseño de las plantas de lixiviados de los predios de González Catán, Mar del Plata y Norte III (todos los casos con THR de 8 días) [61] [13].

Tabla 53. Parámetros cinéticos adoptados en el diseño de reactor aeróbico de lodos activados de aireación extendida.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Tiempo de residencia celular	θc	d	28
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	d	8,6
Biomasa en reactor para el diseño	Xv (o SSV)	mg/l	3500
Biomasa en reactor para operación	Xv'	mg/l	3500
Relación Sólidos Volátiles contra Totales	Xv/XT (o SSV/SST)	mg/l/mg/l	0,85
Sólidos suspendidos totales	XT	mg SST/l	4120
Coeficiente producción	Y	mg/mg	0,5
Coeficiente destrucción	Kd	1/día	0,055
Carga volumétrica	Cv	kgDBO/m3/d	0,67
Relación Alimento/Microorganismos	F/M	mgDBO/mgSSV	0,19
Biomasa en caudal de recirculación	Xr	mg/l	9.000

Tabla 54. Dimensiones obtenidas del reactor biológico de aireación extendida.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen útil	V	m3	385
Altura	h	m	4,00
Altura de revancha	h_{rev}	m	0,5
Área	A	m2	95
Ancho	An	m	7,5
Largo	L	m	12,7
Volumen total	V tot	m3	430

Tabla 55. Parámetros operativos obtenidos para el funcionamiento óptimo del reactor biológico de aireación extendida.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Tasa de recirculación de lodos (Qr/Q)	RL	-	0,64
Caudal de recirculación	Qr	m3/d	28,6
Producción de lodos	Px	kg/d	48,2
Caudal de purga	Qp	m3/d	5,35
Lodos purgados	Xp	kg/d	48,1

5.2.4. Nitrificación

Los cálculos presentados en esta sección se realizan para verificar que los tiempos de residencias hidráulica y celulares adoptados cumplan los requisitos para la nitrificación completa del amonio del efluente.

Datos de entrada

Los datos de entrada son los presentados en la Tabla 56.

Tabla 56. Valores de entrada para verificar la nitrificación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño
Nitrógeno total Keldjahl en ingreso (NTK)	NTK	mg/l	2000
Nitrógeno amoniacal en ingreso (N-NH4)	N0	mg/l	1600
Nitrógeno amoniacal a la salida (N-NH4)	N	mg/l	60
Nitrógeno orgánico no biodegradable	SON	mg/l	5
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	5600
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Tiempo de residencia celular	θc	d	28
% Biomasa nitrificadora/Biomasa reactor	%N-SSV	%	15
Biomasa nitrificadora	N-SSV	mg/l	528
Temperatura	T	ºC	12
pH	pH	upH	7

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del reactor aireado se presentan a continuación.

Tabla 57. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del reactor de lodos activados con aireación extendida. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño	Valor adoptado
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	2-4	2,5
Constante de velocidad media de OD	K_{O2}	mg/l	0-1	0,2
Constante de velocidad media de N	K_N	mg/l	0,4	0,4
Tasa de crecimiento celular	μ_m	mgNH3-N/mgSSV/d	0,3-3	1
Coeficiente producción	Y_N	mg NH4/mg SSV	0,1-0,3	0,1
Coeficiente de degradación endógena	kd_N	d-1	0,02-0,06	0,05
Coeficiente de asimilación de nitrógeno	a_H	-	0,5-0,7	0,6

Cálculos

En primera instancia es necesario estimar el nitrógeno a oxidar (NOx). Este se define a partir del balance de nitrógeno según [94]:

$$NO_x = NTK - N - N_{asim} - SON$$

(Ec. 27)

Donde:

NTK es la concentración de nitrógeno total en el ingreso (mg/l)

N es la concentración de nitrógeno amoniacal a la salida (mg/l)

Nasim es la concentración de nitrógeno asimilado (mg/l)

SON es la concentración de nitrógeno orgánico no biodegradable (mg/l)

A su vez, la asimilación de nitrógeno se presenta a continuación:

$$N_{asim} = (S_0 - S) \cdot \ 0{,}08 \cdot a_H$$

(Ec. 28)

Donde:

Nasim es la concentración de nitrógeno asimilado (mg/l)

So es la concentración de DBO en el ingreso (mg/l)

S es la concentración de DBO en el ingreso (mg/l)

a_H es un coeficiente de asimilación

La tasa de nitrificación específica en un sistema de lodos activados depende de las concentraciones de nitrógeno amoniacal en el efluente y el oxígeno disuelto. Los efectos del oxígeno disuelto y el amoníaco del efluente se definen según:

$$\mu'_N = \mu_{N,max} \cdot \frac{N}{K_N + N} \cdot \frac{DO}{K_{O_2} + DO}$$

(Ec. 29)

Donde:

μ'_N es la tasa de crecimiento en las condiciones de concentración de nitrógeno amoniacal de salida (N, mg/l) y oxígeno disuelto (DO, mg/l).

$\mu_{N,max}$ es la tasa máxima de crecimiento específico

K_{O2} es la constante de velocidad media del oxígeno disuelto

K_N es la constante de velocidad media de nitrógeno

La fracción de bacterias nitrificantes (f_N) se define según:

$$f_N = \frac{0{,}15\ NOx}{a_H(S_0 - S) + 0{,}15\ NOx}$$

(Ec. 30)

La velocidad de nitrificación según [94] se define según:

$$RN = \mu'_N \cdot f_N \cdot X_V$$

(Ec. 31)

Donde:

RN es la tasa de nitrificación en (mg/l/d)

Xv es la concentración de biomasa en el reactor (mgSSV/l)

El tiempo de residencia hidráulico requerido (TRH_N) para nitrificación se define según:

$$TRH_N = \frac{NO_X}{RN}$$

(Ec. 32)

La producción de lodos nitrificantes ($P_{X,N}$ kg/d) se determina según la siguiente relación:

$$P_{x,N} = \left(\frac{QY_n NO_X}{1 + k_{dN}\theta_c}\right)\frac{1}{1000}$$

(Ec. 33)

Donde se emplean los valores anteriormente enunciados y el tiempo de retención celular (θc) final (el calculado para nitrificación si este superara θc para remoción biológica).

El tiempo de residencia celular mínima para la nitrificación se estima a partir de :

$$\theta_{c,N} = \frac{X_V TRH_N}{P_{x,N}\left(\frac{1000}{Q}\right)}$$

(Ec. 34)

Tanto para el TRH como el θc se verifican los valores comparándolos con los obtenidos para la remoción de carbono. En caso de ser inferiores, se garantiza que la nitrificación ocurrirá en forma completa.

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 58. El tiempo de residencia celular que garantiza la nitrificación completa en las condiciones de operación es inferior al empleado en el diseño del reactor, por lo que se verifica el cumplimiento del proceso. El tiempo de residencia hidráulico estimado para la nitrificación es igual al adoptado en la remoción de carbono. Por lo tanto, el reactor biológico diseñado cumple con los criterios cinéticos e hidráulicos para remover el amoníaco en la eficiencia requerida.

Tabla 58. Resultados de la verificación de la nitrificación

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Nitrógeno asimilado	Nasim	mg/l	318
Nitrógeno a oxidar	NO_x	mg/l	1621
Tasa de crecimiento celular	μ'_N	d-1	0,92
Fracción de biomasa nitrificante	f_N	-	0,06
Velocidad de nitrificación	*RN*	mg/l/d	186
Tiempo de residencia hidráulica para nitrificación	TRH_N	d	8,7
Tiempo de residencia celular para nitrificación	θc	d	12,1
Producción de lodos nitrificantes	Px_N	kg/d	3,0

5.2.5. Desnitrificación

Datos de entrada

Los datos de entrada son los presentados en la Tabla 56.

Tabla 59. Valores de entrada para verificar la desnitrificación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Nitrógeno total en ingreso	NTK	mg/l	2000
Nitrógeno amoniacal en ingreso (N-NH4)	N NH4 0	mg/l	1600
Nitrógeno amoniacal en la salida (N-NH4)	N NH4	mg/l	60
Nitrato en el ingreso (N-NO3)	$NO3_0$	mg/l	0
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	5600
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Biomasa reactor aerobio	Xv	mg/l	3500
Temperatura	T	ºC	12
Relación DBO/N	DBO/N	mg/mg	2,8
Tasa de crecimiento celular	μ'_N	d-1	0,92
Fracción de biomasa nitrificante	f_N	-	0,06
Tiempo de residencia hidráulica para nitrificación	TRH_N	d	8,7
Tasa de recirculación reactor aireado	RL	-	0,64

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para la verificación de la desnitrificación se presentan a continuación.

Tabla 60. Parámetros de diseño para verificar la desnitrificación. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño	Valor típico
Tasa de desnitrificación	μ_{DN}	kgNO3-N /kgSSV/d	0,03-0,11	0,3
Fracción de nitrógeno a desnitrificar	f	-	0,5-0,9	0,75
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	<1	0,3
Vol. de reactor anóxico sobre vol. total	Vanox/Vtot	%	10-40	30
Potencia de mezcla requerida	Pe_{A1}	W/m3	5-10	7,5

La potencia requerida para mantener los sólidos en suspensión se tomó como referencia la indicada por Grundfos en su catálogo de mezcladores, cuyo gráfico se encuentra en la Figura 45 (Sección 3.1.2 - Ecualización). Se seleccionó la curva de la aplicación 1 correspondiente a reactores de lodos activados, selectores, reactores anóxicos y anaeróbicos.

Cálculos

En este caso se debe calcular la masa de DQO (donantes de electrones) que es requerida para desnitrificar una masa conocida de nitrato (aceptor de electrones). Si la cantidad de donantes de electrones (DQO) disponibles no es suficiente, entonces no se puede lograr una desnitrificación completa. El cálculo de la remoción de nitrógeno se enfoca esencialmente en lograr o alcanzar un balance entre los aceptores de electrones y los donantes (DQO) tomando en consideración (i) la cinética y biología de la desnitrificación y (ii) los parámetros de operación del sistema (como son las relaciones de recirculación y el tamaño de los reactores anóxicos) bajo los cuales se lleva a cabo el proceso de desnitrificación [102].

De acuerdo con la metodología de [88], primero es necesario calcular la tasa de desnitrificación. Para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$\mu'_{DN} = \mu_{DN} \times 1{,}09^{(T-20)}\,[1 - DO]$$

(Ec. 35)

Donde:

μ'_{DN} es la tasa de desnitrificación en las condiciones de temperatura (T, ºC) y oxígeno disuelto (DO, mg/l).

μ_{DN} es la tasa de desnitrificación específica, g NO3-N/g SSV/día

Según [94], el tiempo de detención hidráulico anóxico para que se produzca la desnitrificación (THR_{DN}) se determina con la expresión:

$$THR_{DN} = THR_N \frac{\mu'_N \cdot f_N \cdot f}{\mu'_{DN}(1 - f_N)}$$

(Ec. 36)

Donde:

THR_N es el tiempo de residencia hidráulico requerido en la nitrificación (d)

μ'_{DN} es la tasa de desnitrificación para el sistema,

μ'_N es la tasa de nitrificación para el sistema,

f_N fracción de bacterias nitrificantes,

f fracción de nitrógeno a desnitrificar.

El volumen del reactor anóxico se determina, según:

$$V = THR_{DN} \cdot Q$$

(Ec. 37)

El tiempo de residencia hidráulico total para el sistema de nitrificación-desnitrificación y remoción biológica de nutrientes y carbono es:

$$THR_{Tot} = THR_N + THR_{DN}$$

(Ec. 38)

El nitrógeno a desnitrificar (mg/l) se estima según:

$$N_{DN} = THR_{DN} \cdot \mu'_{DN} \cdot X_V \cdot (1 - f_N)$$

(Ec. 39)

El nitrato de salida corresponde a

$$NO_{3,s} = NOx - N_{DN}$$

(Ec. 40)

La DBO removida en la desnitrificación, asumiendo 3 mgDBO/mgN, se estima según:

$$S_{DN} = N_{DN} \cdot \frac{3\ mg\ DBO}{mg\ N}$$

(Ec. 41)

La DBO a remover en el reactor aireado es:

$$S_{RA} = S_0 - S - S_{DN}$$

(Ec. 42)

Si se supone que la desnitrificación del nitrato recirculado a la etapa anóxica es completa, considerando la eficiencia adoptada (f), la tasa de recirculación necesaria (licor mezcla + recirculación de lodos) viene dada por:

$$R_g = \frac{1}{1-f} - 1$$

(Ec. 43)

A su vez, la recirculación interna se define como:

$$R_{int} = R_g - R_L = \frac{Q_{R,int}}{Q}$$

(Ec. 44)

Donde:

RL es la tasa de recirculación de lodos (Qr/Q)

Asimismo, en el reactor anóxico se deberá asegurar una mezcla completa del efluente afín de favorecer el contacto entre las corrientes de ingreso (efluente de la laguna anaeróbica + efluente nitrificado recirculado). Para la estimación de la potencia de mezcla requerida se utilizó la siguiente ecuación:

$$P(kW) = \frac{Pe_{A1}\ x\ V}{1000}$$

(Ec. 45)

Donde:

Pe_{A1} = Potencia específica para la aplicación 1 (W/m3)

V = volumen útil del reactor anóxico (m3)

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 61, Tabla 62 y la Tabla 63. El tiempo de residencia hidráulico estimado para la desnitrificación corresponde a un tercio del total, lo cual se encuentra dentro de los rangos típicos para sistemas de nitrificación-desnitrificación y remoción biológica de nutrientes.

Tabla 61. Resultados de la verificación de la desnitrificación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Tasa de desnitrificación real	μ'_{DN}	d-1	0,11
Tiempo de residencia hidráulica para desnitrificar	TRH_{DN}	d	3,5
Tiempo de residencia hidráulica total	TRH_{Tot}	d	12,2
Volumen anóxico/Volumen total	Vano/Vtot	%	29
Nitrógeno (nitrato) a desnitrificar	N_{DN}	mg/l	1216
Materia orgánica removida en la DN	S_{DN}	mg/l	3648
Materia orgánica a remover en etapa aireada	S_{RA}	mg/l	1792
Nitrato en la salida (NO3)	$NO_{3,s}$	mg/l	405

Tabla 62. Dimensiones obtenidas del reactor anóxico de desnitrificación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen útil	V	m3	160
Altura	h	m	4,00
Altura de revancha	h_{rev}	m	0,5
Área	A	m2	40
Ancho	An	m	7,5
Largo	L	m	5,33
Volumen total	V tot	m3	180

Tabla 63. Variables operativas para el funcionamiento óptimo del reactor anóxico.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Tasa de recirculación global	Rg	-	3
Tasa de recirculación interna	Rint	-	2,4
Caudal de recirculación interna	Qint	m3/d	106,4
Potencia requerida de mezclador	P	kW HP	1,2 1,6

Las especificaciones técnicas del mezclador seleccionado se presentan en la Tabla 64.

Tabla 64. Especificaciones técnicas del equipo mezclador seleccionado.

Parámetro	Unidad	Valor
Marca	-	Tsurumi
Modelo	-	MR33NF1.5
Potencia de motor	kW	1,5
Potencia de mezcla unitaria	kW	1,2
Polos	u	6
Frecuencia	Hz	50
Velocidad de rotación de propela	rpm	910
Unidades a instalar	u	2
Modalidad de operación	-	Alternada 1+1
Material de carcasa	-	Hierro de fundición
Caudal de mezcla	m3/min	9,8

5.2.6. Verificación de consumo y producción de alcalinidad

Datos de entrada

Los datos de entrada son los presentados en la Tabla 65.

Tabla 65. Valores de entrada para verificar la alcalinidad.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño
Nitrógeno amoniacal oxidado	N0	mg NH4+-N /l	1.540
Nitrógeno (nitrato) desnitrificado	N_{DN}	mg NO3-N /l	1.216
Alcalinidad	Alk	mgCaCO3/l	7.000

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para la verificación del consumo de alcalinidad se presentan a continuación.

Tabla 66. Parámetros de diseño para la verificación de la desnitrificación. [93].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor típico
Tasa de consumo por nitrificación	Alk_N	mg CaCO3/ mgNH4+-N	7,14
Tasa de producción por desnitrificación	Alk_{DN}	mg CaCO3/ mgNO3-N	3,57

Cálculos

En este caso se debe calcular la diferencia entre la masa de Alcalinidad consumida durante la nitrificación y la producida en la desnitrificación. Se debe comparar lo anterior con la alcalinidad del efluente para verificar si es necesario dosificar un reactivo para aumentar la alcalinidad del sistema o no.

$$\Delta Alk = -Alk_N \cdot N_0 + Alk_{DN} \cdot N_{DN}$$

(Ec. 46)

Donde:

ΔAlk es la diferencia entre la alcalinidad consumida y la producida.

Alk_N es la tasa de consumo de alcalinidad por nitrificación.

Alk_{DN} es la tasa de producción de alcalinidad por desnitrificación.

N_0 es la concentración de nitrógeno amoniacal oxidado.

N_{DN} es la concentración de nitrato desnitrificado.

Resultados

El balance indica que no es necesario dosificar reactivo para incrementar la alcalinidad del efluente para respetar el metabolismo biológico (Tabla 67).

Tabla 67. Resultados de la verificación de la alcalinidad.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor típico
Diferencia de Alcalinidad	ΔAlk	mg CaCO3/l	345,5

5.2.7. Sistema de aireación

Datos de entrada

A continuación, se presentan los valores iniciales para la estimación del requerimiento de oxígeno del sistema.

Tabla 68. Datos de entrada para el diseño del sistema de aireación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m3/d	45
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	5600
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Nitrógeno a oxidar	NO_x	mg/l	1621
Temperatura de líquido invierno	T,i	ºC	12
Temperatura de líquido verano	T,v	ºC	25
Altura sobre el nivel del mar	h	msnm	0
Salinidad	Sal	ppm	20

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del sistema de aireación se presentan a continuación.

Tabla 69. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de aireación. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño	Valor adoptado
Factor de conversión de DBO_5 en DBO_L	f_{RO}	-	0,45-0,7	0,5
Concentración de O2 disuelto saturado en agua limpia a 20ºC y 1 atm	C_s	mg O_2/l	-	9,09
Concentración de saturación de O2 en efluente a T_i, altura y salinidad (en invierno)	$C_{w,i}$	mg O_2/l	-	9,50
Concentración de saturación de O2 en efluente a T_v, altura y salinidad (en verano)	$C_{w,v}$	mg O_2/l	-	7,36
Concentración de oxígeno en condiciones de funcionamiento	C_l	mg O_2/l	1,5-3	2,5
Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente	a	-	0,40-0,80	0,60
Factor de corrección por salinidad y tensión superficial	β	-	0,90 - 0,95	0,90

Cálculos

El sistema de tratamiento biológico por aireación extendida basa su principio de funcionamiento en que la DBO de la materia orgánica presente en el líquido es degradada y estabilizada por microorganismos presentes en el líquido del reactor. Estos microorganismos, para desarrollar su actividad necesitan oxígeno en cantidades específicas para mantener el ciclo vital. La cantidad teórica de oxígeno necesaria para que funcione el tratamiento biológico se calcula conociendo la DBO removida y la cantidad de microorganismos producidos en el sistema. En términos de los parámetros conocidos la demanda de oxígeno teórica (RO, kgO2/d) se define como:

$$RO = \frac{Q(S_0 - S)}{f_{RO}\ 1000kg/g} - 1{,}42\ (P_x)$$

(Ec. 47)

Donde:

f es un factor de conversión de DBO_5 en DBO_L, generalmente 0,45-0,7.

1,42 es el factor de conversión de la biomasa en DBO_L

Px es la masa de barro activado producido, (kg/d).

Por otro lado, también es necesario considerar el oxígeno requerido para que ocurra la nitrificación. Se toma 4,57 kg O2 por cada kg de Nitrógeno Total removido [88]. Asimismo, se debe tener en cuenta la recuperación de oxígeno por el proceso de desnitrificación que ocurre en la zona anóxica. Este se estima en 2,86 kg O2 por cada kg de nitrato removido [88].

La demanda final de oxígeno para este caso es:

$$RO = \frac{Q(S_0 - S)}{f_{RO}\ 1000} + 4{,}57\frac{QNO_X}{1000} - 1{,}42P_x - 2{,}86\ \frac{QN_{DN}}{1000}$$

(Ec. 48)

Los sistemas de aireación forzada definen su transferencia de oxígeno en función del Requerimiento Estándar de Oxígeno (SOR, por sus siglas en inglés). En este punto, es necesario estimar el SOR para invierno como para verano, y adoptar el SOR más elevado. Esto garantizará la satisfacción de demanda de oxígeno durante todo el año. El SOR se define como:

$$SOR = \frac{RO\ C_s}{(\beta C_w - C_l)(1{,}024)^{T-20}\alpha}$$

(Ec. 49)

Donde:

SOR = Requerimiento Estándar de Oxígeno (kgO2/d)

β = Factor de corrección por salinidad y tensión superficial

C_s = Concentración de oxígeno disuelto saturado en agua limpia a 20ºC y 1 atmósfera

C_w = Concentración de saturación de oxígeno en efluente a T y altura dada

C_l = Concentración de oxígeno en condiciones de funcionamiento

T = Temperatura de líquido

a = factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente

Para estimar la potencia de los equipos es necesario conocer el SOR horario:

$$SOR_h = \frac{SOR}{t}$$

(Ec. 50)

Donde:

SORh = Requerimiento Estándar de Oxígeno horario (kgO2/h)

t = cantidad de horas de aireación por día (h/d).

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 70. Se contempla un 10% de margen de seguridad sobre el SOR más exigente, de la condición de verano.

Tabla 70. Resultados del requerimiento de oxígeno.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Requerimiento de Oxigeno	RO	kg O_2/d	598
Requerimiento Estándar de Oxígeno, invierno	SOR_i	kg O_2/d	1811
Requerimiento Estándar de Oxígeno, verano	SOR_v	kg O_2/d	1951
Requerimiento Estándar de Oxígeno Horario, verano	$SOR_{h,v}$	kg O_2/h	81,3
Requerimiento Estándar de Oxígeno Horario, verano +10%	$SOR_{h,v,10\%}$	kg O_2/h	89,4

5.2.7.1. Selección de sistemas de aireación

Para esta aplicación se han analizado dos sistemas de aireación mecánica posibles: el primero, por medio de aireadores sumergibles de la firma Tsurumi y el segundo, por medio de equipos aireadores superficiales de eje inclinado y con aspiración de aire de la firma AireO2. Considerando el SOR del sistema, la potencia a instalar para garantizar la aireación se define según:

$$Po = \frac{SOR}{\eta_{aireador}}$$

(Ec. 51)

A continuación, se muestra el análisis comparativo.

Parámetro	Unidad	Sistema sumergible	Sistema superficial	
Marca	-	Tsurumi	AireO2	
Modelo	-	TRN	Antifouling	
Potencias	kW HP	17 23	15 20	19 25
Transferencia de oxígeno	kg O_2/kW/h	0,58	1,4	
Potencia requerida	kW HP	153 204	64 85	
Cantidad de equipos	u	7	3	1
Costo por equipo	USD	15.400	21.809	27.500
Costo total	USD	107.800	92.927	

El sistema de aireadores superficiales resulta en el de menor inversión inicial. Este tiene una marcada superioridad en eficiencia de transferencia de oxígeno, lo que resulta en menos unidades instaladas y, por ende, menos costos de instalación y mantenimiento. A su vez, el hecho de que los equipos se encuentren en superficie simplifica el mantenimiento correctivo y preventivo de los mismos.

Se seleccionan 3 unidades de 20 HP y una unidad de 25 HP para suplir la demanda de oxígeno. Los aireadores serán instalados sobre sistema de flotación junto a guías para evitar que los equipos operen en seco en casos de fluctuaciones del nivel. El posicionamiento de las unidades asegurará que los equipos se encuentren orientados a 90º del sentido del flujo del efluente, es decir que estarán instalados en las 2 paredes paralelas al sentido de flujo. Esto se realiza para evitar cualquier cortocircuito dentro del reactor.

5.2.8. Sedimentación

Cómo última instancia del tren de tratamiento secundario de la alternativa 1 se propone la instalación de un sedimentador circular para realizar la separación de la biomasa sólida del efluente líquido tratado.

El tanque constará de una zona de entrada y dispersión del efluente, la zona de sedimentación donde ocurre el proceso físico buscado, la zona de salida donde se recolecta el líquido clarificado y la zona de lodos donde los sólidos depositados se acumulan.

Datos de entrada

Se diseñó un sedimentador circular, considerando el caudal máximo para evitar el arrastre de lodos con eventuales picos de caudal.

Tabla 71. Datos de partida para el diseño del sedimentador secundario.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal Mínimo	Q_{min}	m3/d	40
Caudal Medio	Q_{med}	m3/d	45
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65

Parámetros de diseño

Se tomaros los siguientes parámetros de diseño presentados en la

Tabla 72. Parámetros de diseño del sedimentador secundario.

Variable	Símbolo	Unidad	Rango	Valor empleado
Altura sedimentador	h_{sed}	m	3-5	-
Tiempo retención	TRH_{sed}	h	2-5	4,5
Carga superficial	C_s	m3/m2/d	8-16	16
Ángulo de la tolva	α	º	10-45	35
Diámetro canaleta de tolva	d_{ct}	m	0,1-0,5	0,3

Cálculos

En función de la relación entre la carga superficial y el caudal, el área (A_{sed}) de plato de agua necesaria para la sedimentación de un efluente con Cs elegida, se determinó mediante:

$$A_{sed} = \frac{Q_{máx}}{C_s}$$

(Ec. 52)

Definido el tiempo de permanencia (TRH), se calculó el Volumen (V) y Altura del tanque (h_{sed}) de decantación gracias a la relación:

$$V = \frac{TRH_{sed}}{24h/d} \cdot Q_{máx}$$

(Ec. 53)

$$h_{sed} = \frac{V}{A_{sed}}$$

(Ec. 54)

Teniendo en cuenta el área necesaria para la decantación, se estableció que el mismo tendrá las siguientes dimensiones:

$$d_{sed} = 2r = 2\sqrt{A_{sed}/\pi}$$
$$per = 2\pi r$$

(Ec. 55)

Donde:

r es el radio interno del sedimentador

per es el perímetro interno del sedimentador

La acumulación de barros para su posterior expulsión se realiza en la tolva del reactor, donde gracias a una pronunciada pendiente, los sólidos depositados caerán a una canaleta central recolectora. Contemplando el radio la canaleta central de recolección y ángulo de tolva, se calcula la altura de la tolva y se la suma a la altura del sedimentador:

$$h_{tol} = \frac{d_{sed} - d_{ct}}{2} \cdot \tan(\alpha)$$

(Ec. 56)

El volumen ocupado por la tolva se calcula según:

$$V_{tol} = \frac{\pi h_{tol}}{3}({r_{sed}}^2 + {r_{ct}}^2 + {r_{ct}}^2 \cdot {r_{sed}}^2)$$

(Ec. 57)

Resultados

Las dimensiones finales del sedimentador secundario se vuelcan en la Tabla 73.

Tabla 73. Resultados del diseño del sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Área de sedimentación	A_{sed}	m^2	4
Altura útil sedimentador	h_{sed}	m	3
Altura de tolva	h_{tol}	m	0,7
Revancha de altura	h_{rev}	m	0,5
Altura total de sedimentador	h_{tot}	m	4,2
Diámetro interno de sedimentador	d_{sed}	m	2,3
Volumen de sedimentación	V_{sed}	m^3	12,2
Volumen de tolva	V_{tol}	m^3	1,2
Volumen total (con revancha)	V_{tot}	m^3	15,4

5.2.8.1. Zona de entrada

Se decidió diseñar un tanque de forma circular, la estructura de entrada (ascendente, central) deberá distribuir uniformemente el afluente, evitando que se provoquen corrientes o altas velocidades. Para ello se diseña un difusor cilíndrico concéntrico en el que el efluente es desviado desde el centro del sedimentador en forma radial por pequeños orificios.

Parámetros de diseño

Se tomaron los parámetros de la Tabla 74.

Tabla 74. Parámetros de diseño para la zona de entrada al sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Rango	Valor empleado
Velocidad de entrada	v_{ent}	m/s	0,2-0,4	0,3
Diámetro difusor / diámetro total	d_{dif} /d_{sed}	%	15-20	15
Altura de difusor	h_{dif}	m	1-3	1
Altura de difusor con orificios	$h_{dif,or}$	m	0,5-1	0,5
Diámetro orificios difusor	d_{or}	m	0,01-0,02	0,015

Cálculos

En primer lugar, se estima el área total de orificios para respetar la velocidad de entrada con el caudal de diseño, según:

$$A_{tp} = \frac{Q_{máx}}{86400 \frac{s}{d} \cdot v_{ent}}$$

(Ec. 58)

Donde:

A_{tp} es el área total de paso (m2)

Q es el caudal máximo (m3/d)

v_{ent} es la velocidad recomendada de ingreso al sedimentador (m/s).

Para estimar la cantidad de orificios requeridos (n), se emplea la siguiente ecuación:

$$n = \frac{A_{tp}}{a_{or}}$$

(Ec. 59)

Donde:

A_{or} es el área de cada orificio (m2) según:

$$a_{or} = \frac{\pi {d_{or}}^2}{4}$$

(Ec. 60)

Donde:

d_{or} es el diámetro de cada orificio.

Resultados

Los resultados se presentan en la Tabla 75. La cantidad de orificios se distribuye uniformemente en los 50 cm superiores del difusor.

Tabla 75. Resultados de diseño para la zona de entrada al sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Diámetro de difusor	d_d	m	0,35
Área total de paso	A_{tp}	m2	0,003
Cantidad de orificios requeridos	n	-	15
Área de cada orificio	a_{or}	m2	0,0002

5.2.8.2. Zona de salida

La estructura de salida del tanque será establecida de forma tal que evite la re-suspensión de las partículas y las divergencias en el flujo. Para la óptima salida del efluente, se dispondrán vertederos del tipo triangular, los mismos estarán adosados al muro por chapas cortadas que permitan una regulación de la altura para mejorar la horizontalidad del flujo de salida.

Parámetros de diseño

Las velocidades ascensionales en la proximidad del vertedero se deben limitar a los rangos de la Tabla 76.

Tabla 76. Resultados del diseño del sedimentador – zona de salida del efluente clarificado.

Variable	Símbolo	Unidad	Rango	Valor
Velocidad de salida	v_{sal}	m/s	0,1-0,4	0,1
Caudal de recolección lineal	q	l/s/m lineal	2-5	3
Altura de canaleta recolectora	h_c	m	0,2-1	0,25
Altura de vena líquida	h_v	m	0,07-0,15	0,07
Ángulo del vertedero	α	°	45-90	45

Cálculos

Con la velocidad de salida del efluente clarificado (v_{sal}) y el caudal de diseño (Qmáx, m3/s) se determina el área de la canaleta (A_c, m^2) de salida, según:

$$A_c = \frac{Q_{máx}}{v_{sal}}$$

(Ec. 61)

A partir de la altura adoptada de la canaleta (h_c), se determina su ancho según:

$$a_c = \frac{A_c}{h_c}$$

(Ec. 62)

Luego se adopta un caudal de recolección (q) que indica el volumen de efluente que egresa del sedimentador por unidad de tiempo y por metro lineal. A partir del cociente entre el caudal de diseño y el de recolección se determina la longitud de canaleta necesaria, según:

$$L_c = \frac{Q_{máx}}{q_{rec}}$$

(Ec. 63)

Para la recolección de efluente clarificado, se calculan la cantidad de vertederos teniendo en cuenta los parámetros de diseño, y los siguientes cálculos iterativos.

El caudal unitario (q, m^3/s) que evacúa cada vertedero se estima según:

$$q_v = 1{,}34 \cdot {h_v}^{2{,}47}$$

(Ec. 64)

Donde:

hv es la altura del tirante líquido sobre el vértice del vertedero (m).

El ancho del vertedero

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

(Ec. 65)

La cantidad de vertederos necesarios se estima según:

$$n = \frac{Q_{máx}}{q_v}$$

(Ec. 66)

Se aplica un margen de seguridad de 20% y se vuelven a calcular las velocidades.

$$h_{v,real} = 1{,}2 \cdot h_v$$
$$a_{v,real} = 1{,}2 \cdot a_v$$

(Ec. 67)

El espacio entre vertederos (ev) se estima dentro del largo total de la canaleta, según:

$$e_v = \frac{L_v}{n-1}$$

(Ec. 68)

Resultados

Los resultados se presentan en la Tabla 77.

Tabla 77. Resultados de diseño para la zona de salida al sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Área total de la canaleta	A_c	m2	0,008
Ancho de la canaleta	a_c	cm	4
Longitud de canaleta	L_c	cm	75
Cantidad de vertederos requeridos	n	-	3
Caudal unitario por vertedero	q_v	m3/h	1,3
Ancho real de vertedero	$a_{v,real}$	cm	7,2
Tirante líquido real de vertedero	$h_{v,real}$	cm	3,6
Espacio entre vertedero	e_v	cm	30

5.2.8.3. Verificación de carga de sólidos

La verificación de carga de sólidos, medida en kg SSV por unidad de superficie y tiempo, es un parámetro que diferencia al sedimentador secundario de uno de tipo primario.

Datos de entrada

Los valores requeridos para la verificación se presentan en la siguiente Tabla 78.

Tabla 78. Valores requeridos para la verificación de la carga superficial del sedimentador secundario.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Área de sedimentación	A_{sed}	m²	4
Caudal Medio	Q_{med}	m3/d	45
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65
Caudal de recirculación interna	Qint	m3/d	28,6
Concentración de sólidos suspendidos en reactor	Xv	mg/l	3500
Sólidos suspendidos totales	XT	mg SST/l	4120

Parámetros de diseño

Los valores de carga de sólidos a verificar se presentan a continuación en la Tabla 82.

Tabla 79. Rango de carga de sólidos a verificar.

Variable	Caudal	Símbolo	Unidad	Rango
Carga de sólidos	Medio	CS_{med}	kg/m2/h	1,0-4,9
	Máximo	$CS_{máx}$	kg/m2/h	6,8

Cálculos

En el cálculo de la carga de sólidos, a diferencia de la tasa superficial, se debe considerar el caudal de recirculación, ya que el total de sólidos que entra a la unidad debe sedimentar y espesar en el fondo (asumiendo que la cantidad de sólidos evacuados por el efluente es despreciable).

El cálculo de la carga superficial de sólidos afluente al sedimentador, que dice relación con el criterio de espesamiento, despreciando "Qw", es el siguiente:

$$CS = \frac{(Q + Qr) \cdot XT}{A \cdot 1000 \cdot 24}$$

(Ec. 69)

Donde:

CS es la carga superficial de sólidos, (KgSS/m2/h),

Q es el caudal afluente a la planta (Medio Total o Máximo Horario Total), (m3/día),

Qr es el caudal de recirculación, [m3/día],

A es el área horizontal del sedimentador (m2),

XT es la concentración de sólidos suspendidos en el reactor (SSLM), (mgSST/l).

Resultados

Los valores de carga de sólidos obtenidos se presentan a continuación en la Tabla 80. El valor de CS_{med} se encuentra dentro del rango recomendado y el CSmáx se encuentra por debajo del máximo recomendado. El área superficial del sedimentador verifica el criterio de diseño de carga de sólidos.

Tabla 80. Resultado de carga de sólidos a verificar.

Variable	Caudal	Símbolo	Unidad	Valor
Carga de sólidos	Medio	CS_{med}	kg/m2/h	3,15
	Máximo	$CS_{máx}$	kg/m2/h	4,0

5.3. Alternativa 2

5.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento de la alternativa 2 contemplará un pozo de bombeo y una laguna de acopio y ecualización. El pozo de bombeo no tendrá el mismo tiempo de residencia hidráulica que el de la alternativa 1 ya que la atenuación de carga y caudal será llevada a cabo por la laguna. Asimismo, sí se respetará la selección de las bombas realizada en la sección 4.1.1.1.

Pozo de bombeo

Datos de entrada

Los valores del sistema se presentan en la Tabla 81.

Tabla 81. Caudal de bombeo de equipos de pozo de bombeo.

Variable	Unidad	Valor
Caudal de bombeo máximo teórico	m3/d m3/h	65 2,7
Caudal de bombeo real (de bombas seleccionadas)	m3/d m3/h m3/min	108 4,5 0,075

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se presentan en la Tabla 82.

Tabla 82. Parámetros de diseño para la ecualización del pozo de bombeo.

Parámetro	Unidad	Rango	Valor adoptado
Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH)	h	0,5-5	1
Frecuencia de Arranques	1/h	1-5	1
Cantidad de bombas operativas	u	1-2	1
Cantidad de bombas en reserva	u	1-2	1

Cálculos

El volumen del pozo de bombeo está primeramente determinado por el TRH seleccionado (Ec. 19). En pozos con una sola bomba operativa, el volumen útil de la cámara de bombeo está definida físicamente por los niveles de arranque y parada.

En la Figura 49 se observan el volumen útil (Vu) y de fondo (Vf) en una cámara típica para una sola bomba en operación. El volumen de fondo está definido por la altura hf determinada principalmente por las dimensiones de la bomba y la sumergencia requerida. El volumen útil Vu está definido por el caudal de bombeo y la máxima frecuencia de arranque por hora admitida por los motores eléctricos y sus arrancadores. Con el valor de Vu se calcula la altura "h" entre los niveles de arranque y parada de la bomba. El ciclo de operación puede representarse por el diagrama de flujo de la parte "b" de la figura. Partiendo del punto 0 con la bomba detenida, el caudal afluente (Qa, m3/h) hace ascender el nivel en la cámara y en el tiempo tp (de parada de la bomba), se alcanza el nivel de arranque. A partir de este momento, el nivel comienza a descender, pues el caudal de bombeo (Qb, m3/h) es mayor que el Qa y el resultado es el caudal neto ΔQ = Qb–Qa. En el tiempo tf de funcionamiento de la bomba, el nivel desciende hasta el punto 0, finalizando el ciclo con la detención de la bomba [103].

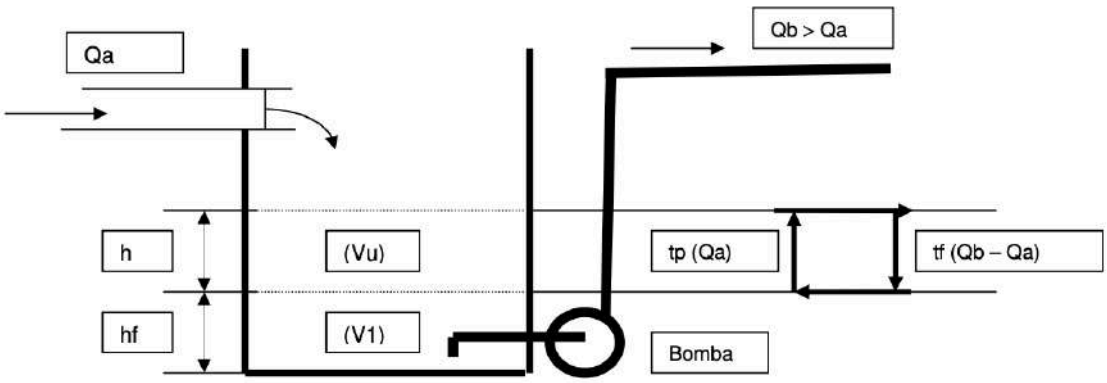


Figura 49. Esquema de funcionamiento del pozo de bombeo con una sola bomba operativa. Fuente: [103]

El tiempo de parada (Tp, en horas) se define como:

$$tp = Vu/Qa \quad \text{(Ec. 70)}$$

El tiempo de funcionamiento (tf, en horas) se define como:

$$tf = Vu/(Qb–Qa)$$

(Ec. 71)

Tiempo de ciclo (tc, en horas) se define como:

$$tc = (Vu/Qa)+Vu/((Qb–Qa)$$

(Ec. 72)

A su vez, la frecuencia de arranques (arranques/hora) se define como:

$$f = 1/tc$$

(Ec. 73)

El tiempo de ciclo se puede reescribir como:

$$tc = (Vu/Qb*(Qa/Qb))+(Vu/(Qb*(1–(Qa/Qb)))$$

(Ec. 74)

Haciendo de k la relación entre caudal afluente y de bombeo:

$$k = Qa/Qb$$

(Ec. 75)

Resulta:

$$tc = (Vu/(k*Qb))+(Vu/((Qb*(1-k)))$$

(Ec. 76)

Despejando se obtiene la expresión para el Volumen util (Vu, en m3)

$$Vu = Qb*tc*1/(1/k+1/(|1-k))$$

(Ec. 77)

Considerando que el mínimo tc ocurre para Qa = 0,5*Qb, resulta:

$$tcmin = (4*Vu)/Qb$$

(Ec. 78)

$$Vumax = Qb/(4*fmax)$$

(Ec. 79)

Resultados

Los resultados del dimensionamiento del pozo de bombeo se presentan en la Tabla 83. Se instalarán 2 bombas, una en operación y otra en reserva, que funcionarán en forma alternada para que su desgaste mecánico sea parejo.

Tabla 83. Resultados de diseño del pozo de bombeo.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Caudal de bombeo unitario	Qb	m3/h	4,5
Volumen útil	Vu	m3	1,15
Volumen total	Vt	m3	5
Largo	L	m	1,5
Ancho	a	m	1,5
Altura total	ht	m	2,5
Altura de fondo	hf	m	0,5
Altura útil	h	m	0,5

5.3.1.1. Ecualización

Parámetros de diseño

La laguna de ecualización es comúnmente empleada en alternativas de tratamiento de lixiviados por su función esencial de atenuar las variabilidades de carga y caudal. Según bibliografía, el tiempo de retención hidráulica en el ecualizador debe ser de mínimamente 5 días [104]. Las lagunas de ecualización de lixiviados existentes en Argentina oscilan entre 10 y 20 días [61] [13].

A su vez, la potencia requerida para mantener los sólidos en suspensión se tomó como referencia la indicada por Grundfos en su catálogo de mezcladores, cuyo gráfico se encuentra en la Figura 45 (Sección 3.1.2 - Ecualización). Se seleccionó la curva de la aplicación 2 correspondiente a reactores de lodos primarios, con potencia de mezcla requerida de 10W/m3 de laguna.

Cálculos

En la Figura 50 se presenta la modelización de la fluctuación del volumen en el ecualizador. La diferencia entre los máximos y mínimos corresponde al volumen mínimo a emplear. Se ha tomado una altura de revancha de 30 cm, lo que otorga un margen de seguridad de 21%.

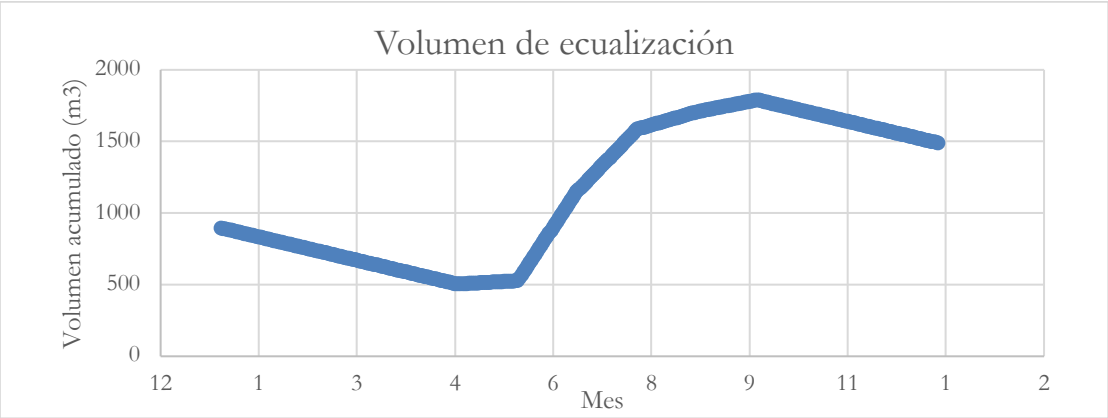


Figura 50. Modelización de la fluctuación de volumen en el ecualizador.

Asimismo, en la laguna se deberá asegurar una mezcla completa del efluente a fin de favorecer la homogeneización de la carga de ingreso. Para la estimación de la potencia de mezcla requerida se utilizó la siguiente ecuación:

$$P(kW) = \frac{Pe_{A1}\ x\ V}{1000}$$

(Ec. 80)

Donde:

Pe_{A1} = Potencia específica para la aplicación 1 (W/m3)

V = volumen útil (m3)

Resultados

El volumen previsto para la ecualización es de 1320 m^3, es decir, lo suficiente para 30 días de acopio considerando un caudal medio de 45 m3/día. El mismo se determinó a partir de la simulación del caudal diario de ingreso (variable) y la salida fija (caudal medio anual). Los resultados obtenidos se presentan en Tabla 84 y Tabla 85.

Tabla 84. Dimensiones obtenidas de la laguna de ecualización.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen útil	V	m3	1320
Altura	h	m	3,00
Altura de revancha	h_{rev}	m	0,3
Superficie a nivel de pelo de agua	Ss	m2	800
Superficie a nivel de fondo	Sf	m2	162
Largo x Ancho a nivel de talud	L x A t	m x m	42 x 21
Largo x Ancho a nivel pelo de agua	L x A s	m x m	40 x 20
Largo x Ancho a nivel de fondo	L x A f	m x m	26,2 x 6,2
Pendiente talud	P	m : m	1:2,3
Volumen total	V tot	m3	1565

Tabla 85. Potencia del mezclador.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Potencia requerida de mezclador	P	kW HP	13 17,3

La laguna estará impermeabilizada con una membrana de PEAD con un espesor de 1500 micrones. Por debajo de la membrana se deberá colocar una capa de 15 cm de espesor de arena y, por debajo de ésta, otra capa de arcilla de 20 cm de espesor.

5.3.2. Bombeo intermedio

Para elevar el líquido desde la laguna semienterrada hasta el sector de coagulación-floculación, se contempla la instalación de un pozo de bombeo intermedio. Dicho pozo se construirá en un talud de la laguna, y se conectará a la misma por una cañería inferior que actúa de vaso comunicante. La profundidad del pozo será la misma de la laguna y tendrán el mismo tirante líquido en reposo.

Datos de entrada

Para seleccionar los modelos de bombas adecuados se emplearon los valores de entrada de la Tabla 86. La altura geométrica a la que tiene que bombear es de 8 m y las pérdidas de carga de 2 metros, es decir, un total de 10 metros.

Tabla 86. Datos de partida para el sistema de bombeo intermedio.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65
Caudal Medio	Q_{med}	m3/d	45
Pérdida de carga	Hf	m	2
Altura vertical	Hz	m	8

Parámetros de diseño

Para la selección del modelo de bombas se tiene en cuenta que las mismas deben contar con las características presentadas en la Tabla 87.

Tabla 87. Criterios de selección de bombas.

Variable	Unidad	Valor
Tipo de bomba	-	Centrífuga sumergible
Tipo de impulsor	-	Monocanal
Caudal de bombeo máximo	m3/min	0,05
Caudal de bombeo medio	m3/min	0,03
Altura de bombeo	m	10

Se seleccionó el modelo de bomba de la marca Tsurumi a partir del análisis de las curvas para la serie B sumergible de impulsor monocanal presentada en la Figura 51.

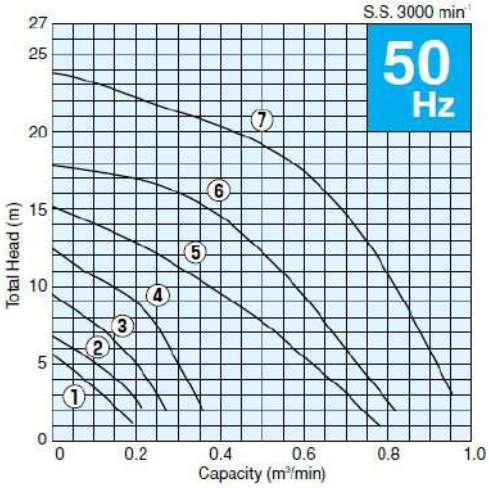


Figura 51. Curvas de funcionamiento de bombas Tsurumi serie B.

Resultados

Se instalarán 2 bombas Tsurumi serie B modelo TOS50B2.75, una en operación y otra en reserva, que funcionarán en forma alternada para que su desgaste mecánico sea parejo. Las bombas contarán con sistema de izaje para facilitar su retiro y mantenimiento. Las bombas tendrán las siguientes características (Tabla 88).

Tabla 88. Especificaciones técnicas de las bombas del pozo.

Especificaciones	Unidad	Valor adoptado
Modelo	-	TOS50B2.75
Marca	-	Tsurumi
Cantidad	-	2
Potencia unitaria	kW	0,75
Voltaje	V	380
Fase	-	3
Frecuencia	Hz	50
Número de polos	-	2
Velocidad nominal	rpm	3000
Tipo impulsor	-	Monocanal semiabierto
Caudal de trabajo	m3/min	0,03
Altura de bombeo	m	11
Diámetro de descarga	mm	50
Anclaje	-	Sistema TOS incluido

5.3.3. Tratamiento primario: Coagulación-floculación-sedimentación

A continuación, se presenta el cálculo del sistema de coagulación-floculación-sedimentación para la remoción del 75% de SST, como tratamiento primario del efluente lixiviado en la segunda alternativa de tratamiento.

5.3.3.1. Coagulación

Datos de entrada

Se diseñó un reactor de coagulación circular, considerando los siguientes valores de inicio (Tabla 89).

Tabla 89. Datos de partida para el diseño del sistema de coagulación-floculación..

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	500
Viscosidad	u	Ns/m2	9,63E-03
Densidad	p	kg/m3	999,13
Temperatura	T	ºC	12
Eficiencia de remoción de SST	η	%	75

Parámetros de diseño

Se tomaros los siguientes parámetros de diseño presentados en la Tabla 90.

Tabla 90. Parámetros de diseño para la coagulación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Mínimo	Máximo	Elegido
Gradiente de velocidad	G	1/s	300	1200	400
Coeficiente de potencia	Kc	-	3	5	4
Tiempo de permanencia	TRH_c	s	20	60	45
Cantidad de paletas de turbina	N	-	2	6	4
Tipo de flujo de turbina	Tf	-	Axial	Radial	Axial
Relación diámetro tanque - diámetro paleta	Dt/D	m/m	2,7	3,3	3
Relación altura tanque- diámetro paleta	H/D	m/m	2,7	3,9	3,1
Relación altura de paleta - diámetro paleta	h/D	m/m	0,75	1,3	1
Relación altura tanque - diámetro tanque	H/Dt	m/m	0,75	1,5	1,25

Las variables de diseño de la cámara de mezcla se encuentran esquematizadas en la Figura 52.

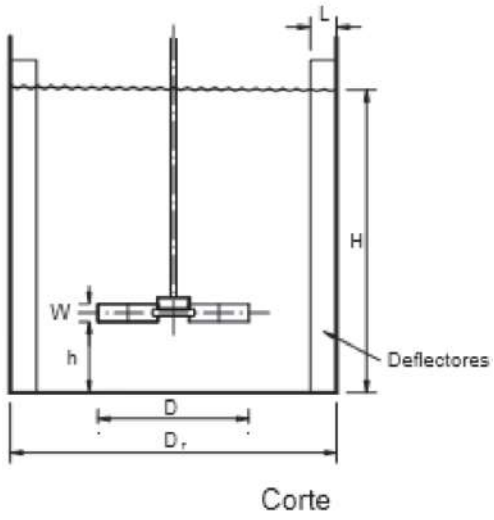


Figura 52. Esquema de cámara de mezcla. [105]

Cálculos

Para el cálculo de las dimensiones de la cámara, primero se estimó el volumen de la misma a partir de:

$$V = \frac{TRH_c}{86400 s/d} \cdot Q_{med}$$

(Ec. 81)

Donde:

THR es el tiempo de permanencia para cada proceso

Q el caudal medio de diseño de la planta de tratamiento.

Luego se seleccionó una altura (H) de los tanques de manera que respetara la relación H/Dt con el diámetro del tanque (Dt). Seguidamente, se seleccionó un valor dentro del rango sugerido para la relación Dt/D para calcular el diámetro (D) de las paletas mezcladoras. Se corroboró que la relación H/D cumpliera su correspondiente rango. Luego se estimó la altura (h) sobre el fondo del tanque en la que se hallan las paletas con el rango determinado para la relación h/D. Por último, con las relaciones estipuladas se determinaron el ancho de los paneles deflectores (L), el ancho de las paletas (W) y el largo de las paletas (B):

$$L = \frac{D_t}{10}$$

(Ec. 82)

$$W = \frac{D}{5}$$

(Ec. 83)

$$B = \frac{D}{4}$$

(Ec. 84)

Para el gradiente de velocidad G elegido, el volumen (V) de la cámara y la viscosidad del efluente μ (aproximadamente igual a la del agua) mostradas en la Tabla VIII, se calculó la potenciar a disipar (P, en W) por la turbina, según la relación:

$$P = \mu V G^2$$

(Ec. 85)

Con la misma, el coeficiente K y los parámetros de diseño, puede determinarse la velocidad de rotación en número de revoluciones por minuto (n) según:

$$n = \sqrt[3]{\frac{P}{K\rho D^5}} \cdot 60\ s/min$$

(Ec. 86)

Donde:

P es potencia a disipar (W)

K es el número de potencia de la turbina

ρ es la densidad del efluente (kg/m3)

D es el diámetro de la turbina (m)

Resultados

Las dimensiones finales del tanque de coagulación se muestran en la Tabla 91, y se esquematizan en la Figura 52.

Tabla 91. Dimensiones de la cámara de mezcla de coagulación.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen útil	V	L	35
Volumen total	Vt	L	60
Altura útil del tanque	H	cm	40
Revancha de altura	hu	cm	30
Altura total	ht	cm	70
Diámetro de tanque	Dt	cm	30
Diámetro de paletas	D	cm	10
Ancho de deflectores	L	cm	3
Ancho de paletas	W	cm	2
Largo de paletas	B	cm	3

Los resultados obtenidos para las condiciones de operación de la cámara de coagulación se presentan en la Tabla 92.

Tabla 92. Condiciones de operación de la cámara de coagulación.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Potencia	P	W	52
Velocidad de rotación	n	rpm	573

5.3.3.2. Floculación

Datos de partida

Se tomaron los mismos datos de ingreso que los presentados en la Tabla 89.

Parámetros de diseño

Se tomaros los siguientes parámetros de diseño presentados en la Tabla 93.

Tabla 93. Parámetros de diseño para la floculación [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Mínimo	Máximo	Elegido
Gradiente de velocidad	G	1/s	20	80	35
Coeficiente de potencia	Kc	-	1	3	1
Tiempo de permanencia	TRH_c	min	5	30	10
Cantidad de paletas de turbina	N	-	2	6	4
Tipo de flujo de turbina	Tf	-	Axial	Radial	Radial
Relación diámetro tanque - diámetro paleta	Dt/D	m/m	2	6,6	3
Relación altura tanque- diámetro paleta	H/D	m/m	2,7	3,9	2,9
Relación altura de paleta - diámetro paleta	h/D	m/m	0,9	1,1	1
Relación altura tanque - diámetro tanque	H/Dt	m/m	0,75	1,5	1,25

Cálculos

Para el cálculo de las dimensiones de la cámara se repite el procedimiento enunciado para la cámara de coagulación, pero con los parámetros y las relaciones de construcción presentados en la Tabla 93. Las relaciones para la cámara de floculación del ancho de los paneles deflectores (L) y el ancho de las paletas (W):

$$L = \frac{D_t}{12}$$

(Ec. 87)

$$W = \frac{D}{8}$$

(Ec. 88)

Los cálculos de potencia disipada y número de revoluciones por minuto son análogos a los cálculos de la cámara de coagulación.

Resultados

Las dimensiones finales del tanque de floculación se muestran en la Tabla 94.

Tabla 94. Dimensiones de la cámara de mezcla de floculación.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen útil	V	L	230
Volumen total	Vt	L	315
Altura útil del tanque	H	cm	80
Revancha de altura	h	cm	30
Altura total	Ht	cm	110
Diámetro de tanque	Dt	cm	60
Diámetro de paletas	D	cm	20
Ancho de deflectores	L	cm	5
Ancho de paletas	W	cm	3
Largo de paletas	B	cm	5

Los resultados obtenidos para las condiciones de operación de la cámara de floculación se presentan en la Tabla 95.

Tabla 95. Condiciones de operación de la cámara de floculación.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Potencia	P	W	2,6
Velocidad de rotación	n	rpm	105

5.3.3.3. Observación

Debido a que las dimensiones y potencias requeridas en ambos procesos son muy pequeños, se deberán seleccionar los equipos comerciales disponibles más pequeños.

En vistas de lo anterior, se plantea, como oportunidad de mejora del proyecto, la posibilidad de reemplazar el sistema de coagulación-floculación mecánico por un sistema de tipo hidráulico (Figura 53).

El floculador hidráulico es un tubo de material plástico de longitud importante respecto del diámetro, laberíntico en vertical, donde se inyecta el coagulante y/o floculante para permitir la ruptura de la emulsión y la formación y crecimiento del floc, que permite mejorar la separación por sedimentación. Este tipo de equipos presentan un diámetro ascendente con el objetivo de cambiar el gradiente de velocidad (G) desde el ingreso del líquido hasta la salida del mismo, generando un aumento natural del tamaño del flóculo formado.

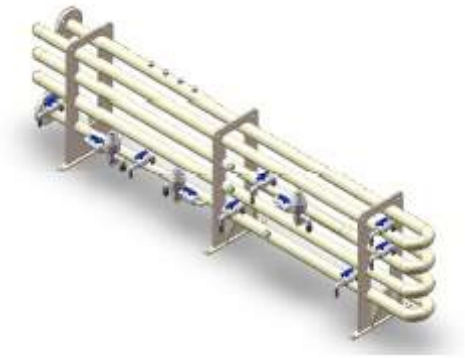


Figura 53. Floculador hidráulico marca EMO planteado como oportunidad de mejora del sistema de coagulación-floculación del tratamiento primario [106].

5.3.3.4. Sedimentador primario

Para separar los sólidos floculados se diseñó un sedimentador primario circular de flujo central ascendente. Se emplearon los datos de entrada presentados en la Tabla 96.

Tabla 96. Datos de partida para el diseño del sedimentador secundario.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal Mínimo	Q_{min}	m3/d	40
Caudal Medio	Q_{med}	m3/d	45
Caudal Máximo	$Q_{máx}$	m3/d	65

Parámetros de diseño

Se tomaros los siguientes parámetros de diseño presentados en la Tabla 97.

Tabla 97. Parámetros de diseño del sedimentador secundario.

Variable	Símbolo	Unidad	Rango	Valor empleado
Tiempo retención	TRH_{sed}	h	1-2	2
Carga superficial	C_s	m3/m2/d	20-40	30
Ángulo de la tolva	α	°	10-45	35
Diámetro canaleta de tolva	d_{ct}	m	0,1-0,5	0,3

Cálculos

Se empleó la misma metodología de cálculo para el sedimentador secundario de la alternativa 1.

Resultados

Las dimensiones finales del sedimentador primario se vuelcan en la Tabla 98, Tabla 99 y Tabla 100.

Tabla 98. Resultados del diseño del sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Área de sedimentación	A_{sed}	m^2	2,2
Altura útil sedimentador	h_{sed}	m	2,5
Altura de tolva	h_{tol}	m	0,5
Revancha de altura	h_{rev}	m	0,5
Altura total de sedimentador	h_{tot}	m	3,5
Diámetro interno de sedimentador	d_{sed}	m	1,7
Volumen de sedimentación	V_{sed}	m^3	5,4
Volumen de tolva	V_{tol}	m^3	0,5
Volumen total (con revancha)	V_{tot}	m^3	7,0

Tabla 99. Resultados de diseño para la zona de entrada al sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Diámetro de difusor	d_d	m	0,25
Área total de paso	A_{tp}	m2	0,003
Cantidad de orificios requeridos	n	-	15
Área de cada orificio	a_{or}	m2	0,0002

Tabla 100. Resultados de diseño para la zona de salida al sedimentador.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor empleado
Área total de la canaleta	A_c	m2	0,008
Ancho de la canaleta	a_c	cm	4
Longitud de canaleta	L_c	cm	75
Cantidad de vertederos requeridos	n	-	3
Caudal unitario por vertedero	q_v	m3/h	1,3
Ancho real de vertedero	$a_{v,real}$	cm	7,2
Tirante líquido real de vertedero	$h_{v,real}$	cm	3,6
Espacio entre vertedero	e_v	cm	30

La eficiencia del tratamiento primario en su conjunto se presenta en la Tabla 101 a continuación.

Tabla 101. Eficiencias de remoción del tratamiento primario.

Datos	Símbolo	Unidad	Valor
Eficiencia de remoción DQO	Ef	%	40
DQO entrada	DQOin	mg/l	18000
DQO salida	DQOout	mg/l	10800
Eficiencia de remoción DBO	Ef	%	25
DBO entrada	DBOin	mg/l	10000
DBO salida	DBOout	mg/l	7500
Relación DBO/DQO resultante	DBO/DQO	-	0,69
Eficiencia de remoción SST	Ef	%	75
Solidos Suspendidos Totales entrada	SST in	mg/l	500
Solidos Suspendidos Totales salida	SST out	mg/l	125

5.3.4. Sistemas de dosificación

El sistema dosificador de coagulante consta de un tanque de PEAD con tapa con una bomba dosificadora on-off. En cuanto al sistema dosificador de floculante, consta de un tanque de PEAD con un agitador vertical y una bomba dosificadora on-off. Estos sistemas se encienden cuando se accionan las bombas del pozo de bombeo intermedio (Nº2).

Para garantizar la eficiencia del tratamiento secundario, se instalará en el pozo de bombeo Nº2 un sistema de dosificación de soda u ácido para controlar el pH proveniente de la laguna de ecualización. Se instalarán dos sensores de pH, uno en el ingreso y otro a la salida. Se completa el sistema con una válvula automática para evitar la salida del líquido hacia el reactor en caso de que el pH no cumple con el rango necesario. La medición del sensor de pH de ingreso al tanque comanda a dos bombas dosificadores de diafragma proporcionales, según el reactivo que deba incorporarse. El segundo sensor de pH es el que habilita, o no, a la válvula automática para el envío del líquido hacia el reactor. Las bombas tomarán el producto de un maxibidón mediante una lanza de succión. De este modo el contacto con el mismo es mínimo, reduciendo los peligros asociados a su manipulación por parte del personal de operación.

5.3.4.1. Insumos

Datos de entrada

Los datos de entrada al sistema coagulación-floculación son los presentados en la Tabla 102.

Tabla 102. Datos de entrada para la estimación de consumos de insumos.

Datos	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	Q	m^3/h	1,875
Presión de operación	P	atm	1
Temperatura de operación	T	°C	20
Concentración de SST en la entrada	Cs_{in}	mg/l	500
Concentración de SST en la salida	Cs_{out}	mg/l	125
Concentración de DBO en la entrada	DBO_{in}	mg/l	10000
Concentración de DBO en la salida	DBO_{out}	mg/l	75000

Parámetros

Se tomaros los siguientes parámetros de diseño presentados en la Tabla 103.

Tabla 103. Parámetros de diseño para la estimación de consumo de insumos.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Rango	Valor adoptado
Dosis de coagulante	Dc	mg/l	600 - 1000	750
Dosis de floculante	Df	mg/l	100 - 200	150
Tasa de producción de lodo por cantidad de químicos agregados	CL	mg/l	700 - 1200	900
Densidad coagulante	ρ_{coa}	kg/m^3	1400	1400
Densidad floculante	ρ_{floc}	kg/m^3	1200	1200

Cálculos

El consumo de reactivos se estima según:

$$C_{coa/floc} = \frac{Q \cdot D_{coa/floc}}{1000}$$

(Ec. 89)

Donde:

C es el consumo de reactivo, expresado en kg/h,

Q es el caudal horario, expresado en m3/h,

D es la dosis de reactivo requerida, expresada en mg/l.

El caudal del reactivo a dosificar se estima según:

$$q_{coa/floc} = \frac{C_{coa/floc} \cdot 1000}{\rho_{coa/floc}}$$

(Ec. 90)

Donde:

q es el caudal de reactivo requerido, expresada en l/h,

ρ es la densidad del reactivo, expresada en kg/m3.

El período de almacenamiento de los reactivos en sus tanques se estima según la siguiente expresión e indica el plazo en el que se deben rellenar los tanques.

$$T_{alm,coa/floc} = \frac{V_{tk,coa/floc}}{q_{coa/floc} \cdot h_{tb}}$$

(Ec. 91)

Donde:

Talm es el tiempo de uso del reactivo almacenado, en días,

V es el volumen del tanque de almacenamiento, en litros,

q es el caudal de reactivo a dosificar, en l/h.

h_{tb} son las horas de trabajo de la bomba de dosificación.

Resultados

Los resultados de consumos de reactivos y de las dosificar son los presentados en la Tabla 104.

Tabla 104. Resultados de estimación de consumos de insumos.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Resultado
Consumo de coagulante	C_{coa}	kg/h	1,875
Caudal de coagulante a dosificar	q_{coa}	l/h	1,34
Volumen del tanque almacenamiento	V_{tkc}	l	500
Horas de trabajo bomba	h_{tb}	h/d	24
Tiempo de almacenamiento de reactivo	$T_{alm,coa}$	d	15,5
Consumo de floculante	Cf	kg/h	0,375
Caudal de floculante a dosificar	q_{floc}	l/h	0,31
Volumen del tanque almacenamiento	V_{tkf}	l	300
Horas de trabajo bomba	h_{tb}	h/d	24
Tiempo de almacenamiento de reactivo	$T_{alm,floc}$	d	40

5.3.5. Tratamiento secundario MBR

Se ha desarrollado una solución alternativa para el tratamiento biológico de los lixiviados, en la cual se ha optado por la tecnología MBR (Membrane Biological Reactor). Esta tecnología reduce fuertemente la superficie ocupada por la planta y logra un agua de alta calidad, apta para reúso.

Datos de entrada

Los datos de entrada al sistema MBR son los presentados en la Tabla 105 y se agrupan con los parámetros de salida requeridos por la normativa en la Tabla 51.

Tabla 105. Valores adoptados para el diseño del reactor aireado.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio diario	Q	m3/d	45
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	7500
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Eficiencia de remoción de la DBO_5	η	%	98

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del reactor aireado se presentan en la Tabla 106.

Tabla 106. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del reactor aireado para sistema MBR. Fuente [79]

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño
Tiempo de residencia celular	θc	d	20-60
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	h	2-10
Sólidos Suspendidos Volátiles	Xv (o SSV)	mg/l	8.000-15.000
Coeficiente producción	Y	mg/mg	0,5-0,6
Coeficiente de producción neto/observado	Yobs	mg/mg	0,15-0,3
Coeficiente destrucción	Kd	1/day	0,055
Carga volumétrica	Cv	kgDBO/m3/d	0,16-0,40
Relación Alimento/Microorganismos	F/M	mgDBO/mgSSV	0,05-0,15

Cálculos

Para determinar el volumen del reactor aireado se empleó la misma metodología que en el diseño del tratamiento biológico aireado de la alternativa 1.

Todos los valores han sido adoptados respetando los rangos establecidos en bibliografía para sistemas MBR [107] y la información disponible de sistemas de tratamiento de lixiviados existentes en Argentina [13].

Resultados

Los parámetros cinéticos para el cálculo se presentan en la Tabla 107. Los resultados del dimensionamiento del reactor biológico se presentan en la Tabla 108 y los valores obtenidos para la correcta operación del tratamiento se presentan en la Tabla 109 y Tabla 55.

El volumen del reactor se estimó según la ecuación de cinética y se obtuvo un valor de 250 m3 de volumen útil. El tiempo de residencia hidráulico resultante supera los rangos establecidos para MBR para efluentes tradicionales, pero se encuentra por debajo del rango empleado por la firma TECSAN para el diseño de las plantas de lixiviados de los predios de González Catán, Mar del Plata y Norte III (todos los casos con THR de 8 días) [61] [13].

Tabla 107. Parámetros cinéticos adoptados en el diseño de reactor aeróbico MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Tiempo de residencia celular	θc	d	40
Tiempo de residencia hidráulica	TRH	d	5,6
Biomasa en reactor para el diseño	Xv (o SSV)	mg/l	12.000
Biomasa en reactor para operación	Xv'	mg/l	12.000
Coeficiente producción	Y	mg/mg	0,5
Coeficiente destrucción	Kd	1/day	0,055
Carga volumétrica	Cv	kgDBO/m3/d	1,35
Relación Alimento/Microorganismos	F/M	mgDBO/mgSSV	0,11
Biomasa en caudal de recirculación	Xr	mg/l	15.000

Tabla 108. Dimensiones obtenidas del reactor biológico MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen útil	V	m3	250
Altura	h	m	4,5
Altura de revancha	h_{rev}	m	0,50
Área	A	m2	56,25
Ancho	W	m	7,5
Largo	L	m	7,5
Volumen total	V tot	m3	291,6

Tabla 109. Parámetros operativos obtenidos para el funcionamiento óptimo del reactor biológico MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Tasa de recirculación de lodos (Qr/Q)	RL	-	2,6
Caudal de recirculación	Qr	m3/d	117
Producción de lodos	Px	kg/d	57
Caudal de purga	Qp	m3/d	4,3
Lodos purgados	Xp	kg/d	66,8

Se estima que la proporción DBO/DQO a la salida del tratamiento biológico es de 0,3 debido a la remoción de la fracción biodegradable. Las concentraciones de contaminantes a la salida del MBR se presentan en la Tabla 110 a continuación.

Tabla 110. Concentraciones de contaminantes a la salida del MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/l	160
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	533
Nitrógeno amoniacal	N-NH4	mg/l	60
Fósforo total	P Total	mg/l	1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	30

5.3.5.1. Sistema de Membranas

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para la estimación del requerimiento de membranas se presentan a continuación.

Tabla 111. Parámetros de diseño para el cálculo de la superficie de membrana necesaria en el MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Caudal	Q	m3/d	45
Flujo de membrana máx.	Jmax	m3/m3/d	0,15
Flujo de membrana mín.	Jmin	m3/m3/d	0,125

Cálculos

Se determinó la superficie de membranas a instalar mediante el cociente entre el caudal a permear y el flujo (flux) de la membrana a instalar:

$$S = \frac{Q}{J}$$

(Ec. 92)

Donde:

S es la superficie de membrana a instalar (m2)

Q es el caudal de diseño (m3/d)

J es el flujo admisible por unidad de superficie (m3/m2/d)

En segunda instancia, se verificó que las dimensiones del reactor permitieran el funcionamiento del sistema de membranas con permeado a gravedad. Para ello es necesario estimar la altura que permitirá la TMP suficiente o bien seleccionar módulos de membrana cuya altura total se encuentre al menos 1 metro por debajo de la altura del pelo de agua del reactor.

A su vez, se estimó el volumen ocupado por los módulos de membrana y el largo del compartimento de filtración a adicionar al reactor aireado, teniendo en cuenta la altura y el ancho del mismo.

Resultados

En este caso se ha optado por un sistema de membrana plana sumergible con un flux relativamente bajo (0,125 $m^3/m^2/d$) debido a la complejidad del efluente. El resultado corresponde a una superficie requerida de 360 m^2 de membrana (Tabla 112).

Tabla 112. Estimación de superficie de filtración.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Superficie de filtración requerida	S	m2	360
Volumen útil de reactor aireado	V	m3	250
Altura útil de reactor aireado	hr	mm	4500

En base a la superficie requerida por módulo se seleccionó el modelo ES150 de la firma Kubota (ver Figura 54). Los módulos son simples (un piso de membrana), contando cada uno con 150 membranas o cartuchos, de allí la denominación ES150. Las características de los 3 módulos a instalar se presentan en la Tabla 113.

Tabla 113. Dimensiones del módulo ES150 de Kubota.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Marca	-	-	Kubota
Modelo	-	-	ES150
Cantidad de módulos	n	-	3
Cantidad de cartuchos por módulo	Cm	-	150
Superficie por cartucho de membrana	Sc	m2	0,8
Superficie por módulo	Sm	m2	120
Altura de módulo	hm	mm	2026
Ancho de módulo	wm	mm	600
Largo de módulo	lm	mm	2201

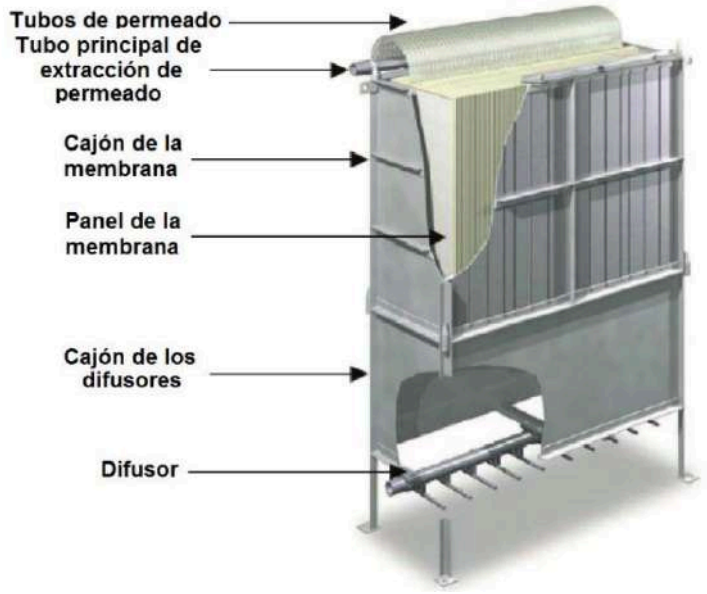


Figura 54. Módulo Kubota de la serie ES.

Adicionalmente al volumen de aireación, se requiere una zona exclusiva para la instalación de las membranas. El volumen que ocupa este espacio se agrega al tamaño del reactor aireado de manera de no quitar volumen de reacción. El largo adicional es equivalente al largo de cada módulo más un margen de 0,7 m (Tabla 114).

Tabla 114. Volumen requerido para la implantación de las membranas.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen ocupado por cada módulo	Vm	m3	2,7
Largo compartimento filtración	Lf	m	2,9

5.3.6. Nitrificación

Los cálculos presentados en esta sección se realizan para verificar que los tiempos de residencias hidráulica y celular adoptadas cumplan los requisitos para la nitrificación completa del amonio del efluente.

Datos de entrada

Los datos de entrada son los presentados en la Tabla 115.

Tabla 115. Valores de entrada para verificar la nitrificación en el sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño
Nitrógeno total Keldjahl en ingreso (NTK)	NTK	mg/l	2000
Nitrógeno amoniacal en ingreso (N-NH4)	N0	mg/l	1600
Nitrógeno amoniacal a la salida (N-NH4)	N	mg/l	60
Nitrógeno orgánico no biodegradable	SON	mg/l	5
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	7500
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Tiempo de residencia celular	θc	d	40
% Biomasa nitrificadora/Biomasa reactor	%N-SSV	%	15
Biomasa nitrificadora	N-SSV	mg/l	1440
Temperatura	T	ºC	12
pH	pH	upH	7

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del reactor aireado se presentan en la Tabla 116 a continuación.

Tabla 116. Parámetros de diseño para la verificación de la nitrificación en sistema MBR. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño	Valor adoptado
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	2-4	2,5
Constante de velocidad media de OD	K_{O2}	mg/l	0-1	0,2
Constante de velocidad media de N	K_N	mg/l	0,4	0,4
Tasa de crecimiento celular	μ_m	mgNH3-N/mgSSV/d	0,3-3	1
Coeficiente producción	Y_N	mg NH4/mg SSV	0,1-0,3	0,1
Coeficiente de degradación endógena	kd_N	d-1	0,02-0,06	0,05
Coeficiente de asimilación de nitrógeno	a_H	-	0,5-0,7	0,6

Cálculos

Se empleó la misma metodología que en la sección de Cálculos para la Nitrificación de la Alternativa 1.

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 117. El tiempo de residencia celular que garantiza la nitrificación completa en las condiciones de operación es inferior al empleado en el diseño del reactor, por lo que se verifica el cumplimiento del proceso. El tiempo de residencia hidráulico estimado para la nitrificación es igual al adoptado en la remoción de carbono. Por lo tanto, el reactor biológico diseñado cumple con los criterios cinéticos e hidráulicos para remover el amoníaco en la eficiencia requerida.

Tabla 117. Resultados de la verificación de la nitrificación en sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Nitrógeno asimilado	Nasim	mg/l	429
Nitrógeno a oxidar	NO_x	mg/l	1510
Tasa de crecimiento celular	μ'_N	d-1	0,92
Fracción de biomasa nitrificante	f_N	-	0,04
Velocidad de nitrificación	*RN*	mg/l/d	448
Tiempo de residencia hidráulica para nitrificación	TRH_N	d	3,4
Tiempo de residencia celular para nitrificación	θc	d	12,1
Producción de lodos nitrificantes	Px_N	kg/d	2,3

5.3.7. Desnitrificación

Datos de entrada

Los datos de entrada son los presentados en la Tabla 118.

Tabla 118. Valores de entrada para verificar la desnitrificación en el sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Nitrógeno total en ingreso	NTK	mg/l	2000
Nitrógeno amoniacal en ingreso (N-NH4)	N NH4 0	mg/l	1600
Nitrógeno amoniacal en la salida (N-NH4)	N NH4	mg/l	60
Nitrato en el ingreso (N-NO3)	$NO3_0$	mg/l	0
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	7500
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Biomasa reactor aerobio	Xv	mg/l	12000
Temperatura	T	ºC	12
Relación DBO/N	DBO/N	mg/mg	3,8
Tasa de crecimiento celular	μ'_N	d-1	0,92
Fracción de biomasa nitrificante	f_N	-	0,04
Tiempo de residencia hidráulica para nitrificación	TRH_N	d	3,4
Tasa de recirculación reactor aireado	RL	-	2,6

Parámetros de diseño

Los parámetros empleados en el diseño del reactor aireado se presentan a continuación.

Tabla 119. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del reactor MBR. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango de diseño	Valor típico
Tasa de desnitrificación	μ_{DN}	kgNO3-N /kgSSV/d	0,03-0,11	0,3
Fracción de nitrógeno a desnitrificar	f	-	0,5-0,9	0,75
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	<1	0,3
Volumen de reactor anóxico sobre volumen total	Vanox/Vtot	%	10-40	30
Potencia de mezcla requerida	Pe_{A1}	W/m3	5-10	7,5

Cálculos

Se empleó la misma metodología que en la sección de Cálculos para la Desnitrificación de la Alternativa 1.

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 120, Tabla 121 y la Tabla 122. El tiempo de residencia hidráulico estimado para la desnitrificación corresponde a un 14% del total, lo cual se encuentra dentro de los rangos típicos para sistemas de nitrificación-desnitrificación y remoción biológica de nutrientes.

Tabla 120. Resultados de la verificación de la desnitrificación para el sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Tasa de desnitrificación real	μ'_{DN}	d-1	0,11
Tiempo de residencia hidráulica para desnitrificar	TRH_{DN}	d	0,93
Tiempo de residencia hidráulica total	TRH_{Tot}	d	6,5
Volumen anóxico/Volumen total	Vano/Vtot	%	14
Nitrógeno (nitrato) a desnitrificar	N_{DN}	mg/l	1133
Materia orgánica removida en la DN	S_{DN}	mg/l	3398
Materia orgánica a remover en etapa aireada	S_{RA}	mg/l	3942
Nitrato en la salida (NO3)	$NO_{3,s}$	mg/l	378

Tabla 121. Dimensiones obtenidas del reactor anóxico de desnitrificación para sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Volumen útil	V	m3	42
Altura	h	m	4,50
Altura de revancha	h_{rev}	m	0,5
Área	A	m2	9,35
Ancho	W	m	7,5
Largo	L	m	1,25
Volumen total	V tot	m3	46,7

Tabla 122. Parámetros operativos obtenidos para el funcionamiento óptimo del reactor anóxico para sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado
Tasa de recirculación global	Rg	-	3
Tasa de recirculación	Rint	-	0,4
Caudal de recirculación interna	Qint	m3/d	18,1
Potencia requerida de mezclador	P	kW HP	0,3 0,42

Las especificaciones técnicas del equipo mezclador seleccionado se presentan en la siguiente Tabla 123.

Tabla 123. Especificaciones técnicas del equipo mezclador seleccionado.

Parámetro	Unidad	Valor
Marca	-	Tsurumi
Modelo	-	MR21NF750
Potencia de motor	kW	0,75
Potencia de mezcla unitaria	kW	0,35
Polos	u	4
Frecuencia	Hz	50
Velocidad de rotación de propela	rpm	1410
Unidades a instalar	u	2
Modalidad de operación	-	Alternada 1+1
Material de carcasa	-	Hierro de fundición
Caudal de mezcla	m3/min	3,6

5.3.8. Sistema de aireación

Datos de entrada

A continuación, se presentan los valores iniciales para la estimación del requerimiento de oxígeno del sistema (Tabla 124).

Tabla 124. Datos de entrada para el diseño del sistema de aireación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q	m3/d	45
Carga orgánica en el ingreso (DBO_5)	S0	mg/l	7500
Carga orgánica en la salida (DBO_5)	S	mg/l	160
Nitrógeno a oxidar	NO_x	mg/l	1510
Temperatura de líquido invierno	T,i	ºC	12
Temperatura de líquido verano	T,v	ºC	25
Altura sobre el nivel del mar	h	msnm	0
Salinidad	Sal	ppm	20

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del sistema de aireación se presentan a continuación (Tabla 125).

Tabla 125. Parámetros de diseño para la estimación del requerimiento de aireación. Fuentes: [88].

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango	Valor
Factor de conversión de DBO_5 en DBO_L	f_{RO}	-	0,45-0,7	0,5
Conc. de OD saturado en agua limpia a 20ºC y 1 atmósfera	C_s	mg O_2/l	-	9,09
Conc. de saturación de O2 en efluente a T_i, altura y salinidad (invierno)	$C_{w,i}$	mg O_2/l	-	9,50
Conc. de saturación de O2 en efluente a T_v, altura y salinidad (verano)	$C_{w,v}$	mg O_2/l	-	7,36
Conc. de oxígeno en condiciones de funcionamiento	C_l	mg O_2/l	1,5-3	2,5
Factor de conversión de la transferencia de oxígeno para el efluente	a	-	0,40-0,80	0,60
Factor de corrección por salinidad y tensión superficial	β	-	0,90-0,95	0,90
Margen de seguridad de sistema de aireación	$MgSeg$	%	5-20	10

Cálculos

Se empleó la misma metodología que en la sección de Cálculos para el Sistema de Aireación de la Alternativa 1.

Resultados

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 126. Se adopta un SOR con un margen de seguridad de 10%.

Tabla 126. Resultados del requerimiento de oxígeno para el sistema MBR.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor adoptado
Requerimiento de Oxigeno	RO	kg O_2/d	745
Requerimiento Estándar de Oxígeno, invierno	SOR_i	kg O_2/d	2225
Requerimiento Estándar de Oxígeno, verano	SOR_v	kg O_2/d	2400
Requerimiento Estándar de Oxígeno Horario, invierno	$SOR_{h,i}$	kg O_2/h	92
Requerimiento Estándar de Oxígeno Horario, verano	$SOR_{h,v}$	kg O_2/h	100
Requerimiento Estándar de Oxígeno, adoptado	SOR_a	kg O_2/d	2640

5.3.8.1. Selección de sistemas de aireación

Se ha definido la utilización de un sistema de aireación compuesto de difusores tubulares de burbuja fina, debido a su elevada eficiencia de transferencia de oxígeno, sumado al hecho de que en los sistemas MBR resulta imperativa la aireación mediante este sistema para realizar la limpieza mecánica de las membranas.

Datos de entrada

A continuación, se presentan los valores iniciales para la estimación del sistema de difusores (Tabla 127).

Tabla 127. Datos de entrada para el diseño del sistema de aireación con difusores.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Requerimiento Estándar de Oxígeno, adoptado	SOR_a	kg O_2/d	2640
Densidad del aire a 0ºC	pair	kg/m3	1,298
Porcentaje de O2 en aire	%O2	%	21
Sumergencia de parrilla de difusores	Sumd	m	4,2
Cartuchos por módulo ES150	Cart	-	450
Módulos Kubota ES150 a instalar	n	-	3

Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño empleados para el diseño del sistema de aireación se presentan a continuación (Tabla 128).

Tabla 128. Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de aireación con difusores.

Parámetro	*Símbolo*	Unidad	Rango	Valor
Eficiencia de transferencia de O2 por difusor por metro (SOTE) para difusores tubulares SSI, modelo AFT-N21000	*SOTE*	%/m	5-8	7,05
Caudal de limpieza para módulos de membrana Kubota por cartucho	*QLC*	L/min/cart	5-10	11

Cálculos

Se estimó el caudal de aire a ser suministrado por soplantes regenerativos según:

$$Q_A = \frac{SOR_a}{\rho_{aire} \cdot SOTE \cdot Sum_d \cdot \%_{O_2}/100}$$

(Ec. 93)

Donde:

Q_A es el caudal de aire a suministrar (Nm3/d),

SOR_a es el requerimiento de oxígeno adoptado (kgO2/d),

ρ es la densidad del aire a 0ºC (kg/m3),

SOTE es la eficiencia de transferencia de oxígeno,

Sum es la sumergencia de los difusores (m),

% O_2 es el porcentaje de Oxígeno en el aire.

Adicionalmente, es necesario estimar el caudal de aire a utilizar durante la limpieza de mecánica de los módulos de membrana. Dichos módulos poseen un sistema propio de difusión de aire con burbuja gruesa, para la limpieza permanente de las membranas. Los soplantes a instalar deberán ser independientes a los de aireación ya que la limpieza se realiza en forma intermitente, a diferencia del sistema de aireación continuo.

El caudal de limpieza requerido (Q_L) se determina según:

$$Q_L = Q_{L,c} \cdot C_m \cdot n$$

(Ec. 94)

Donde:

$Q_{L,c}$ es el caudal de limpieza por cartucho

C_m es la cantidad de cartuchos por módulo

n es la cantidad de módulos a instalar

Resultados

Se ha corrido el modelo de estimación de difusores de la firma SSI, teniendo en cuenta las dimensiones del reactor, el SOR calculado para cada condición de temperatura, con un margen de seguridad del 10%. Los resultados se presentan en la Tabla 130, Tabla 131, Figura 55 y Figura 56.

Para el sistema de difusión de aire del reactor, se proyecta un sistema con 152 difusores tubulares de burbuja fina. El consumo de aire total de 1240 m3/h a 520 mbar de presión. El mismo deberá ser suministrado por 4 soplantes en operación y uno en reserva, con una capacidad unitaria de 310 m3/h. Los difusores se instalan sobre parrillas sumergidas a 30 cm del fondo. Se estiman 2 bajadas de inoxidable con 76 difusores cada una. Cada bajada tendrá 38 posiciones, con dos difusores opuestos por posición.

Para el sistema de limpieza de las membranas, es necesario instalar un soplante independiente ya que deberá ser accionado en forma intermitente para la limpieza. Debido a que el caudal necesario para la limpieza corresponde a un 95% del caudal unitario de los soplantes para el aire de reacción, se seleccionó el mismo modelo de equipo. De esta forma, el soplante de reserva puede ser compartido por ambos sistemas.

Se seleccionó un equipode la marca Greenco que cumplieran con lo especificado en la Tabla 129. El modelo seleccionado corresponde a la turbina regenerativa 3RB-550-2AAT67.

Tabla 129. Resultados obtenidos para el sistema de aireación por difusión.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal total de aire de reacción	Q_A	m^3 aire/h	1240
Caudal unitario de soplantes para aire de reacción	$Q_{A,u}$	m^3 aire/h	310
Caudal estimado de aire de limpieza	Q_L	m^3 aire/h	297
Caudal unitario de soplante para aire de limpieza	$Q_{L,u}$	m^3 aire/h	310
Presión de trabajo de soplantes	Ps	mbar	520
Cantidad de soplantes a instalar	n	-	6
Potencia unitaria de soplantes	Ps	kW	11

Tabla 130. Resultados del sistema de aireación de difusores SSI para MBR.

AFT65x1000-2mm SISTEMA DE AIREACIÓN DIFUSADA DE BURBUJA FINA TUBE

Tipo de proceso :	**MBR**
Tipo de entrada :	**SOR**
Tipo de difusor :	**AFT65x1000-2mm**
Tipo de tanques:	**Rectangular**

Tank 1

	Unidades	**Verano**	**Invierno**
SOR	(kg O_2/day)	2,640	2,450
SOR	(kg O_2/hr)	110	102.08
Tank 1 Longitud	(m)	7.5	7.5
Tank 1 Anchura	(m)	7.5	7.5
Profundidad del agua del difusor	(m)	4.2	4.2
Flujo de aire total	**(Nm^3/hr)**	**1.239**	**1.150**
Flujo de aire por difusor	**(Nm^3/hr)**	**8.29**	**8.3**
Cantidad de difusor	**(pcs)**	**150**	**139**
Densidad del difusor	**(%)**	**40**	**37.07**
SOTE	**(%/m)**	**7,10**	**7,10**
SALTO total	**(%)**	**29,81**	**29,81**
Presión del ventilador	(mbar)	520	520
Pressure @ Top Of Dropleg	(mbar)	498,07	498,12

Tabla 131. Resultados del sistema de aireación de difusores SSI para MBR (continuación).

Tank 1			
	Unidades	**Verano**	**Invierno**
SOR	(kg O_2 /day)	2,640	2,450
SOR	(kg O_2 /hr)	110	102.08
Tiempo de aireación	(hrs)	24	24
Oxígeno disuelto	(mg/l)	2	2
Densidad mínima del difusor	(%)	5	5
Tank 1 Longitud	(m)	7.5	7.5
Tank 1 Anchura	(m)	7.5	7.5
Profundidad de agua lateral	(m)	4.5	4.5
Profundidad del agua del difusor	(m)	4.2	4.2
Tank 1 Area	(m^2)	56.25	56.25
Volumen del tanque	(m^3)	253.13	253.13
Energía de mezcla requerida	($Nm^3/hr/m^2$)	2.2	2.2
Flujo de aire para una mezcla mínima	(Nm^3/hr)	115.09	115.09
Cantidad mínima de difusor	(pcs)	19	19
SP O_2Ratio de transferencia	gr O_2/Nm^3-m	21,14	21,14
SAE	(kg O_2/kWh)	5.02	5.02
Eficiencia del ventilador	(%)	70	70
Potencia del ventilador	(kW)	21.91	20.34
Costo estimado por kWh	(kWh)	0.11	0.11
Costo operativo anual	(USD)	21,112.48	19,599.62

Notas:

- Los valores de SOTE en los diseños se corrigen a un nivel de referencia de TDS de 1000 mg / l, de acuerdo con las normas ASCE / ATV.

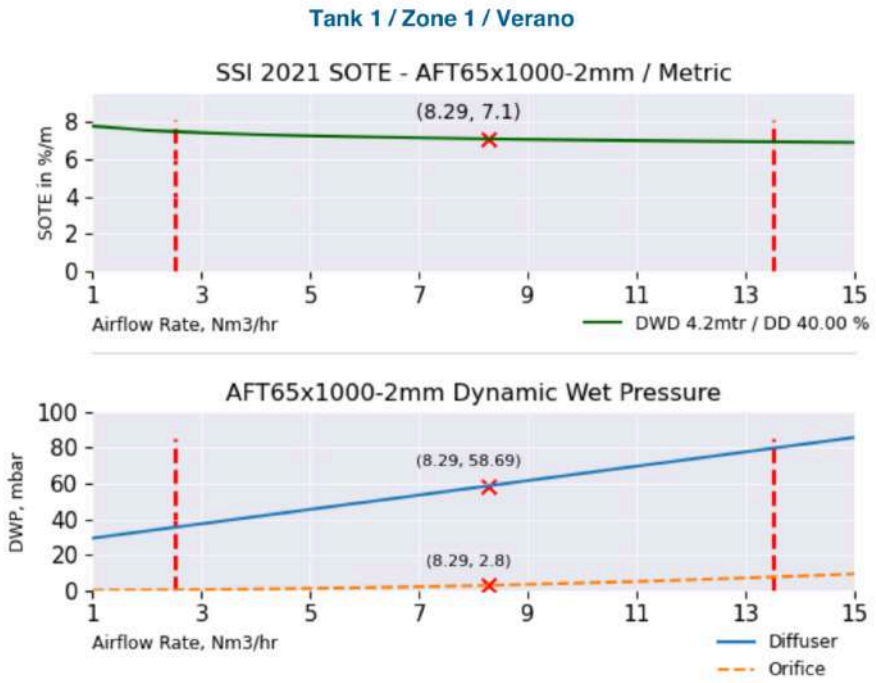


Figura 55. Curvas de SOTE y Presión del difusor seleccionado.

Figura 56. Dibujo y esquema de instalación de difusores SSI.

5.4. Tratamiento terciario

5.4.1. Adsorción con Carbón Activado

A la salida del tratamiento secundario de cualquiera de las dos alternativas será necesario instalar un tratamiento terciario capaz de remover la fracción remante de DQO recalcitrante como también remover color y cualquier traza de microcontaminante no tratado previamente. La tecnología empleada para el tratamiento secundario corresponde a la adsorción por carbón activado granular (CAG).

Las eficiencias en remoción de DQO y de color se encuentran entre 60 -90% y 70-80% respectivamente.

Datos de entrada

Los datos de entrada al sistema de filtros CAG y los parámetros de salida requeridos por la normativa se presentan en la Tabla 132.

Tabla 132. Valores adoptados para el diseño del reactor aireado.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio diario	Qm,d	m3/d	45
Caudal medio horario	Qm,h	m3/h	1,875
DQO en el ingreso	Sr0	mg/l	533
DQO deseada en la salida	Sr	mg/l	400
Eficiencia de remoción mínima requerida	η	%	25

Cálculos

Para la selección del equipo se buscaron filtros industriales para el caudal requerido teniendo en cuenta la necesidad de contar con al menos dos equipos en operación para que los períodos de retrolavados no interrumpan el proceso y adicionalmente un equipo de reserva.

Para ello se estimó el caudal de cada equipo según:

$$Q_{FCAG} = \frac{Q_{m,h}}{2} \cdot 1{,}1$$

(Ec. 95)

Resultado

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 133.

Tabla 133. Resultados obtenidos para la selección de filtros de CAG.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal mínimo del filtro	Q_{FCAG}	m3/h	1,0
Cantidad de filtros a instalar	n	-	3

5.4.2. Desinfección

Para el caso de la Alternativa 1, es necesario instalar un sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la eliminación de organismos patógenos que pudieran escapar del

sedimentador. Se deberá instalar una cámara laberíntica de cloración, con suficiente tiempo de retención hidráulica para asegurar el tiempo de contacto efectivo.

A su vez, por tratarse de un vuelco por absorción por suelo, se debe cumplir con la ausencia de cloro libre a la salida. Por este motivo se debe instalar un sistema de decloración con metabisulfito de sodio.

En el caso de la Alternativa 2, la desinfección química no es necesaria ya que ningún microorganismo puede traspasar la membrana, que actúa como una barrera física a los patógenos.

5.5. Deshidratación de lodos

Periódicamente se realiza una extracción de lodos para su deshidratación. La deshidratación permite ampliar la capacidad de almacenamiento de lodos, y reducir gastos de logística y disposición de los mismos al no depender de los camiones atmosféricos.

Datos de entrada

Los datos de entrada para la selección de un equipo deshidratador para cada alternativa son los presentados en la Tabla 134.

En el caso de la Alternativa 1, los lodos en exceso contabilizados provienen del reactor aireado. Los barros a retirar diariamente del sistema rondan los 56,7 kg SST, lo que equivale a un caudal (en SST) de 6,3 m3/d.

En el caso de la Alternativa 2, los lodos en exceso contabilizados provienen de la coagulación-floculación primaria y del reactor de membrana. Los barros primarios suponen una generación diaria de 16,8 kg SST. Los barros a retirar diariamente del sistema biológico rondan los 38,4 kg SST, lo que equivale a un caudal (en SST) de 3,2 m3/d. En total, la cantidad de sólidos es de 55,2 kg/d.

Tabla 134. Valores de entrada para la selección de un equipo deshidratador, (Ver Tabla 146 y Tabla 147)

Alternativa	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
1	Masa de sólidos a deshidratar (en SST)	Sret1	kg/d	56,7
2	Masa de sólidos a deshidratar (en SST)	Sret2	kg/d	55,2

Parámetros de diseño

Se desea deshidratar el barro en exceso en un período de tiempo que no exceda la jornada laboral de los operadores de planta, de manera de que el equipo se encienda y apague en un mismo turno.

En la Tabla 135 se presenta el criterio de selección de la capacidad del equipo.

Tabla 135. Parámetros de selección de equipo deshidratador.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Tiempo de deshidratación	Td	h	4-8

Cálculos

Para seleccionar el equipo se determina la capacidad requerida según:

$$Cap_{desh} = \frac{Sret}{Tdesh}$$

(Ec. 96)

Resultado

Los resultados se presentan en la Tabla 136.

Tabla 136. Resultados obtenidos de las capacidades requeridas para el equipo de deshidratación.

Alternativa	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
1	Capacidad de deshidratación requerida	Capdesh	kg SST/h	7,1 – 14,2
2	Capacidad de deshidratación requerida	Capdesh	kg SST/h	6,9 - 13,8

Se propone instalar, en ambas Alternativas, un deshidratador de lodos por anillas móviles marca Tsurumi modelo MDQ-102, con una capacidad de 6 a 12 kg SST/h. Esta capacidad de permitirá el tratamiento del barro en aproximadamente 5-8 horas.

Tabla 137. Especificaciones técnicas del equipo deshidratador seleccionado.

Parámetro	Descripción / Valor
Equipo	Multi-Disc Prensa de tornillo Deshidratador- MDQ series
Modelo	MDQ-102
Concentración Lodo	0.5 a 2 %
Capacidad	6 a 12 Kg. SST/ hr.
Capacidad	1 m^3/hr
Potencia Motor	0.7kw.
Agua de Servicio	32L/min a 0.4Mpa.
Tamaño	1785 x 900 x 1821mm

5.6. Panel de control

El tablero de control eléctrico deberá incluir todos los componentes necesarios para el funcionamiento automático de la planta y deberán en particular, poseer las siguientes características:

- Construcción en concordancia con protección IP 55,
- PLC,
- botón de parada de emergencia,
- lámparas de señal de operación y falla,
- botón de reseteo,
- relay de protección de motor,
- fusibles.

CAPÍTULO 6. Selección de tratamiento definitivo

En este capítulo se comparan los aspectos más relevantes de cada alternativa planteada y se seleccionará la más adecuada. Los criterios de selección incluyen: la eficiencia del tratamiento, la superficie ocupada, la inversión inicial, la potencia instalada y la producción de lodos.

6.1. Eficiencia de tratamiento

6.1.1. Alternativa 1

En la Tabla 138 se presentan los valores de los parámetros más relevantes en el ingreso y egreso al sistema de tratamiento de la Alternativa 1, junto a su porcentaje de remoción y los límites establecidos por la normativa aplicable.

En todos los casos, se cumple con la normativa, con eficiencias de remoción que inician en 90% para sólidos suspendidos totales (SST) y llegan a 98% en el caso de la carga orgánica (DBO y DQO). La remoción de nitrógeno total y amoniacal es de 97% y 96% respectivamente. En cuanto al nitrato, se realiza una remoción parcial en el proceso de desnitrificación y posteriormente con el tratamiento terciario. Para este tipo de vuelco, no está especificada la remoción total del parámetro.

Tabla 138. Eficiencia de remoción de la Alternativa 1.

Parámetro	Símbolo	Límite establecido por Res. Nº 336/03 ADA	Valor (mg/l)		Eficiencia Remoción (%)
			Ingreso	Egreso	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	<200	10000	160	98
Demanda Química de Oxígeno	DQO	<500	18000	400	98
Nitrógeno Total	NTK	<105	2000	60	97
Nitrógeno Amoniacal	NH4	<75	1600	60	96
Nitrato	NO3	NE	10	300	-
Sólidos Susp. Totales	SST	NE	500	50	90
Fósforo Total	P	<10	100	1	99

6.1.2. Alternativa 2

En la Tabla 139 se presentan los valores de los parámetros más relevantes en el ingreso y egreso al sistema de tratamiento de la Alternativa 2, junto a su porcentaje de remoción y los límites establecidos por la normativa aplicable.

Las eficiencias de remoción son iguales a las de la Alternativa 1 para los parámetros DBO, DQO, nitrógeno total, amoniacal y fósforo. En cuanto al nitrato, la eficiencia es mayor ya que en el conjunto de reactores anóxico-aireado se remueve más carga biológica, con su consiguiente remoción de nutrientes. El otro parámetro que presenta una mejora en su remoción son los SST, que gracias a la filtración de las membranas pueden alcanzar valores tan bajos como 1 mg/l. Esto trae una ventaja al mantenimiento y vida útil del sistema de filtración de carbón activado ya que evita taponamiento. A su vez, esta remoción superior tiene el mismo

efecto en el sistema de riego por goteo con el que se pretende realizar el vuelco del líquido tratado.

Tabla 139. Eficiencia de remoción de la Alternativa 2.

	Parámetro	Límite establecido por Res. Nº 336/03 ADA	Valor (mg/l)		Eficiencia Remoción (%)
			Ingreso	Egreso	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	<200	10000	160	98
Demanda Química de Oxígeno	DQO	<500	18000	400	98
Nitrógeno Total	NTK	<105	2000	60	97
Nitrógeno Amoniacal	NH4	<75	1600	60	96
Nitrato	NO3	NE	10	280	-
Sólidos Susp. Totales	SST	NE	500	<5	99,5
Fósforo Total	P	<10	100	1	99

6.1.3. Conclusión

En base al criterio de eficiencia de remoción y de cumplimiento de la normativa, las dos alternativas están en igualdad de condiciones ya que alcanzan las mismas eficiencias. Sin embargo, a pesar de que los SST no estén regulados por la normativa, alcanzar una mayor remoción trae beneficios a la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento terciario y del sistema de infiltración. Por este motivo, la alternativa más conveniente es la número 2.

6.2. Superficie ocupada

En esta sección se cuantifica la superficie mínima ocupada por cada alternativa, teniendo en cuenta únicamente los procesos que son exclusivos de cada una. El pozo de bombeo, y el tratamiento terciario, comunes a ambos, no se incluyen en el análisis. Para simplificar el análisis, no se ha contemplado la superficie real de implantación, es decir los márgenes de seguridad a emplear en los alrededores de cada unidad.

6.2.1. Alternativa 1

El tren propuesto para la Alternativa 1 cuenta con cuatro principales unidades: las lagunas anaeróbicas de configuración paralela, el reactor anóxico, el reactor aireado y el sedimentador. En la Tabla 140 se describen las superficies mínimas de cada unidad. La superficie mínima total para la Alternativa 1 es de 1939,5 m^2.

Tabla 140. Análisis de superficie mínima ocupada por el tren de tratamiento exclusivo de la Alternativa 1.

Etapa	Instalación	Unidad	Superficie ocupada
Tratamiento secundario anaeróbico	Lagunas anaeróbicas (total)	m2	1800
Remoción de nutrientes	Reactor anóxico	m2	40
Tratamiento secundario aeróbico	Reactor aireado	m2	95
Separación de sólidos	Sedimentador	m2	4,5
	TOTAL	m2	1939,5

6.2.2. Alternativa 2

El tren propuesto para la Alternativa 2 cuenta con 5 principales unidades: la laguna de acopio y ecualización, el sistema de coagulación-floculación-sedimentación, el reactor anóxico, el reactor aireado y su zona de filtración donde se ubican las membranas. En la Tabla 141 se describen las superficies mínimas de cada unidad. La superficie mínima total para la Alternativa 2 es de 972 m^2.

Tabla 141. Análisis de superficie mínima ocupada por el tren de tratamiento exclusivo de la Alternativa 2.

Etapa	Instalación	Unidad	Superficie ocupada
Pretratamiento	Laguna de ecualización	m2	882
Tratamiento primario	Cámaras de coagulación-floculación y sedimentador	m2	5
Remoción de nutrientes	Reactor anóxico	m2	10
Tratamiento secundario aeróbico	Reactor aireado	m2	56,25
Separación de sólidos	Zona de filtración	m2	18,75
	TOTAL	m2	972

6.2.3. Conclusión

En base al criterio de superficie ocupada, la alternativa más conveniente es la número 2, ya que ocupa un 60% menos que la Alternativa 1. Este criterio resulta crítico ya que el predio del Complejo Ambiental se encuentra saturado y requiere de ampliación para aumentar la capacidad de disposición de sólidos. Cuanto menor sea la superficie ocupada por la planta de tratamiento, menor deberá ser esa expansión, minimizando los impactos ambientales asociados al uso de la tierra.

6.3. Análisis económico

En esta sección se realiza el análisis económico, teniendo en cuenta todas las unidades de tratamiento implicadas, incluyendo las que son comunes a ambas propuestas.

6.3.1. Inversión inicial

En esta sección se cuantifica la inversión inicial (CAPEX) para cada alternativa. Para su estimación se solicitaron presupuestos a distintos proveedores de equipos. El detalle de la metodología se presenta en el Anexo II.

6.3.1.1. Alternativa 1

En la Tabla 142 se presenta el resumen de los costos estimado para la Alternativa 1. Se mencionan los rubros que componen la construcción de la planta junto a su porcentaje de incidencia en el total. El costo de la Alternativa 1 asciende a USD 668.554.

Tabla 142. Resumen del presupuesto económico para la Alternativa de Tratamiento 1, expresada en dólares americanos, según cotización del BNA billete vendedor del día 15/12/2020 (ARS 82,5 = 1 USD).

Rubro	Ítem	Descripción	Total Rubro	Ítem	Rubro
0		ADQUISICION DE TERRENO	$ 2.472		0,4%
1		OBRA CIVIL	$ 292.579		44%
	1.1	TAREAS PRELIMINARES	$ 9.220	1%	
	1.2	LAGUNAS ANAERÓBICAS	$ 72.978	11%	
	1.3	REACTORES, PLATEAS Y CÁMARA DE CLORACIÓN	$ 194.964	29%	
	1.4	POZO DE BOMBEO	$ 15.418	2%	
2		EQUIPAMIENTO	$ 298.690		45%
	2.1	PRETRATAMIENTO	$ 10.637	2%	
	2.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO	$ 186.223	28%	
	2.3	TRATAMIENTO TERCIARIO	$ 55.831	9%	
	2.4	VARIOS	$ 46.000	7%	
3		MONTAJE	$ 27.208		4%
	3.1	MONTAJE MECÁNICO	$ 18.241	3%	
	3.2	MONTAJE ELÉCTRICO	$ 5.440	1%	
	3.3	SUPERVISIÓN DE MONTAJE	$ 3.528	1%	
4		HONORARIOS PROFESIONALES AMBIENTALES	$ 18.240		2,6%
5		SEGUROS	$ 31.836		5%
		TOTAL	$ 668.554		100%

6.3.1.2. Alternativa 2

En la Tabla 143 se presenta el resumen de los costos estimados para la Alternativa 2. Se mencionan los rubros que componen la construcción de la planta junto a su porcentaje de incidencia en el total. El costo de la Alternativa 2 asciende a USD 545.959.

Tabla 143. Resumen del presupuesto económico para la Alternativa de Tratamiento 2, expresada en dólares americanos, según cotización del BNA billete vendedor del día 15/12/2020 (ARS 82,5 = 1 USD).

Rubro	Ítem	Descripción	Total Rubro	Ítem	Rubro
0		ADQUISICION DE TERRENO	$ 1.239		0,2%
1		OBRA CIVIL	$ 145.507		26,8%
	1.1	TAREAS PRELIMINARES	$ 9.220	2%	
	1.2	REACTORES Y PLATEAS	$ 98.023	18%	
	1.3	POZO DE BOMBEO	$ 15.418	3%	
	1.4	LAGUNA DE ECUALIZACIÓN	$ 22.846	4%	
2		EQUIPAMIENTO	$ 327.766		60%
	2.1	PRETRATAMIENTO	$ 58.431	11%	
	2.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	$ 19.302	4%	
	2.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	$ 148.741	27%	
	2.4	TRATAMIENTO TERCIARIO	$ 55.292	10%	
	2.5	VARIOS	$ 46.000	8%	
3		MONTAJE	$ 27.208		5%
	3.1	MONTAJE MECÁNICO	$ 18.241	3%	
	3.2	MONTAJE ELÉCTRICO	$ 5.440	1%	
	3.3	SUPERVISIÓN DE MONTAJE	$ 3.528	1%	
4		HONORARIOS PROFESIONALES AMBIENTALES	$ 18.240		3%
5		SEGUROS	$ 25.998		5%
		TOTAL	$ 545.958		100%

6.3.1.3. Conclusión

En base al criterio de inversión inicial, la alternativa más económica es la número 2, cuyo ahorro respecto de la primera es de USD 122.596. En un contexto de escasos recursos, este criterio suele ser decisivo, pero no rotundo ya que hace falta analizar el costo operativo.

Los montos de ambas alternativas pueden ser financiados por préstamos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o el Banco Mundial. En el caso del BID, está en vigencia el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos Préstamo BID N°3249/OC-AR [31] "Programa de Gestión de Residuos Sólidos en Municipios Turísticos" (AR-L1025), aprobado en junio del 2007 por un monto de USD 60 millones correspondientes a financiamiento externo y que ascendió a un total de USD 75 millones, incluyendo la contrapartida local. El objetivo del programa consiste en disminuir la disposición de residuos sólidos en Basurales a Cielo Abierto e incrementar la disposición de los mismos en rellenos sanitarios diseñados, construidos y operados adecuadamente en centros urbanos y turísticos.

6.3.1. Costo operativo

En esta sección se comparan dos indicadores de los costos operativos de una planta de tratamiento de efluentes, siendo éstos la potencia instalada y consumida de cada alternativa como la generación de lodos biológicos.

6.3.1.1. Potencia instalada y consumida

Teniendo en cuenta que ciertos equipos tienen una unidad de respaldo instalada con un esquema de funcionamiento de alternancia, la potencia consumida es considerablemente menor a la instalada para ambos casos. El consumo de los elementos de instrumentación no superará el 5% de la potencia total consumida. El cálculo de potencias instaladas y consumidas para cada alternativa se presenta a continuación.

6.3.1.1.1. Alternativa 1

En la Tabla 144 se presenta el listado de equipos electromecánicos de la Alternativa 1, junto con las potencias unitarias y el factor de servicio, que corresponde a la fracción de unidades operativas en un instante dado. En este caso, la potencia total instalada es de 105,2 kW y la consumida es de 77,3 kW, lo que equivale a un 73,5% de la total.

Tabla 144. Estimación de potencia instalada y consumida para el conjunto de equipos electromecánicos incluidos en la Alternativa 1.

Ítem	Descripción de equipo	Ubicación	Cant	P Unit.	P Inst.	Factor	P Consumida
				kW	kW	Servicio	kW
1	Bomba sumergible Tsurumi mod. TOS50NHC2.75	Pozo de Bombeo	2	0,75	1,5	0,5	0,75
2	Bombas dosificadoras Grundfos DDE-610 (2+1)	Corrección de pH	3	0,5	1,5	0,67	1,0
3	Bomba sumergible Tsurumi modelo TOS50B2.75	Pozo Bombeo Intermedio	2	0,75	1,5	0,5	0,75
4	Mezcladores sumergibles Tsurumi modelo MR33NF1.5 (1+1)	Remoción de nitrógeno	2	1,5	3,0	0,5	1,5
5	Bombas de recirculación interna Tsurumi modelo 50NH21,5 (1+1)	Remoción de nitrógeno	2	1,5	3,0	0,5	1,5
6	Aireadores superficiales AireO2 serie Antifouling (3+1)	Reactor de aireación extendida	4	15,0	60,0	0,75	45,0
7	Aireadores superficiales AireO2 serie Antifouling	Reactor de aireación extendida	1	18,0	18,0	1,0	18,0
8	Bomba sumergible Tsurumi TOS 50B 2.75	Sedimentador	2	0,8	1,5	1,0	1,5
9	Bombas dosificadoras Grundfos DDE-610 (2+1)	Desinfección química	3	0,5	1,5	0,67	1,0
10	Filtro de carbón activado granular Industrial marca Hidrocheck (2+1)	Adsorción con Carbón activ.	3	3,0	9,0	0,7	6,0
11	Deshidratador Tsurumi MDQ102	Deshidratación de barros	1	0,7	0,7	0,5	0,35
POTENCIA TOTAL INSTALADA			105,2				kW
ESTIMACIÓN DE POTENCIA CONSUMIDA			77,35				kW

6.3.1.1.2.Alternativa 2

En la Tabla 145 se presenta el listado de equipos electromecánicos de la Alternativa 2. En este caso, la potencia total instalada es de 102,0 kW y la consumida es de 84,65 kW, lo que equivale a un 83% de la total.

Tabla 145. Estimación de potencia instalada y consumida para el conjunto de equipos electromecánicos incluidos en la Alternativa 2.

Ítem	Descripción de equipo	Ubicación	Cant	P Unit.	P Inst.	Factor	P Consumida
				kW	kW	Servicio	kW
1	Bomba sumergible Tsurumi modelo TOS50NHC2.75	Pozo de Bombeo	2	0,75	1,5	0,5	0,75
2	Mezcladores superficiales Aquaturbo MIX-AS-0750-24	Ecualización	2	7,5	15,0	1,0	15,0
3	Bomba sumergible Tsurumi modelo TOS50B2.75	Pozo Bombeo Intermedio	2	0,75	1,5	0,5	0,75
4	Agitador vertical, marca Crismet.	Coagulación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
5	Agitador vertical, marca Crismet.	Coagulación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
6	Bombas dosificadoras Grundfos DDE-610	Coagulación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
7	Agitador vertical, marca Crismet.	Floculación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
8	Agitador vertical, marca Crismet.	Floculación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
9	Bombas dosificadoras Grundfos DDE-610	Floculación	1	0,5	0,5	1,0	0,5
10	Bombas dosificadoras Grundfos DDE-610	Corrección de pH	3	0,5	1,5	1,0	1,5
11	Mezcladores sumergibles Tsurumi modelo MR21NF750	Remoción de nitrógeno	2	0,4	0,8	1,0	0,8
12	Bombas de recirculación y purga Tsurumi modelo 80NH21,5	Remoción de nitrógeno	2	1,5	3,0	0,5	1,5
13	Turbinas regenerativas Greenco mod.3RB-550-2AAT67 para reacción y limpieza de membrana	Reactor de Membranas	6	11	66,0	0,8	55,0
14	Filtro de carbón activado granular de 1 m3/h marca Hidrocheck	Adsorción con Carbón activado	3	3	9,0	0,7	6,0
15	Deshidratador Tsurumi MDQ102	Deshidratación de barros	1	0,7	0,7	0,5	0,35
POTENCIA TOTAL INSTALADA			102,0				kW
ESTIMACIÓN DE POTENCIA CONSUMIDA			84,65				kW

6.3.1.1.3.Conclusión

Ambas alternativas se encuentran en el orden de 100kW de potencia instalada.. La Alternativa 1 es la de menor consumida, cuya diferencia respecto de la segunda es de 7,3 kW, lo cual no representa una diferencia sustancial entre ambas opciones.

6.3.1.2. Producción de lodos

La cantidad de lodos que deben ser removidos de la planta por día generan un costo asociado a la manipulación, almacenamiento y posterior disposición de los mismos. La generación de barros en exceso de cada alternativa se presenta a continuación.

6.3.1.2.1.Alternativa 1

En el caso de la Alternativa 1, los lodos en exceso contabilizados provienen del reactor aireado. Sin embargo, es preciso contemplar que en las lagunas anaeróbicas se produce una deposición de barros que debe removerse con una frecuencia estimada de 2 a 4 años.

Los barros a retirar diariamente del sistema rondan los 56,7 kg SST, lo que equivale a un caudal (en SST) de 6,3 m3/d (Tabla 146).

Tabla 146. Estimación de la generación de barros a retirar diariamente en la Alternativa 1.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de purga en SS volátiles	Qp SSV	m3/d	5,4
Caudal de purga en SS totales	Qp SST	m3/d	6,3
Concentración biomasa en sedimentación	Xs	mg/l	9000
Masa de Lodos purgados	Xp,ssv	kg/d	48,1
Masa de Lodos purgados	Xp,sst	kg/d	56,7

6.3.1.2.2. Alternativa 2

En el caso de la Alternativa 2, los lodos en exceso contabilizados provienen de la coagulación-floculación primaria y del reactor de membrana. En este caso, no habrá remoción de sólidos de ninguna laguna.

Los barros primarios suponen una generación diaria de 16,8 kg SST. Los barros a retirar diariamente del sistema biológico rondan los 38,4 kg SST, lo que equivale a un caudal (en SST) de 3,2 m3/d. En total, la cantidad de sólidos es de 55,2 kg/d (Tabla 147).

Tabla 147. Estimación de la generación de barros a retirar diariamente en la Alternativa 2.

Etapa	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Tratamiento primario	Masa de sólidos primarios	SSTrem	kg/d	16,8
	Caudal de sólidos primarios	Qsst,p	m3/d	0,26
Tratamiento secundario	Caudal de purga en SS volátiles	Qp SSV	m3/d	2,7
	Caudal de purga en SS totales	Qp SST	m3/d	3,2
	Concentración biomasa en reactor	Xs	mg/l	12000
	Masa de Lodos purgados	Xp,ssv	kg/d	32,4
	Masa de Lodos purgados	Xp,sst	kg/d	38,4
Global	Masa de sólidos a retirar	Sret	kg/d	55,2

6.3.1.2.3. Conclusión

Ambas alternativas presentan una generación de sólidos similar. El total para las dos corrientes de sólidos de la Alternativa 2 es levemente menor que la Alternativa 1, con la diferencia de que en esta última requiere de vaciar las lagunas anaeróbicas con cierta frecuencia. Se podría considerar que, a igualdad de generación de barros, prevalece la Alternativa 2 al no necesitar de la limpieza de lagunas.

6.4. Resumen de comparativa

En la Tabla 148 se presenta la valoración de cada parámetro para cada Alternativa. En función de lo expuesto en este capítulo, la Alternativa más conveniente es la Alternativa 2. La misma presenta ventajas en los siguientes criterios: Eficiencia de tratamiento, Superficie ocupada, Inversión inicial y Producción de lodos.

Tabla 148. Síntesis de comparación de criterios entre Alternativas, donde "+" es una valoración positiva, "-" es negativa y "0" es neutral.

Criterio		Alternativa 1	Alternativa 2
Eficiencia de tratamiento		0	+
Superficie ocupada		-	+
Inversión inicial		-	+
Costos Operativos	Potencia instalada	+	0
	Producción de lodos	0	+

CAPÍTULO 7. Planos

Se han elaborado los siguientes planos de la planta de tratamiento seleccionada (Alternativa 2), que se presentan en el Anexo I:

1. Implantación general.
2. Implantación en sitio de disposición final.
3. Detalle de pozos de bombeo.

Los planos corresponden a una ingeniería básica y deben considerarse como una referencia aproximada de las instalaciones a construir, en concordancia con la memoria de cálculo presentada anteriormente. La implantación definitiva surgirá de la ingeniería de detalle y del cálculo estructural a realizar tras el replanteo en el sitio de la obra.

CAPÍTULO 8. Estudio de Impacto Ambiental

8.1. Introducción

La realización de una planta de tratamiento de los efluentes lixiviados de un relleno sanitario resulta imprescindible en la planificación de infraestructuras de ciudades medias, ya sea para mejorar su perfil sustentable y su nivel de saneamiento tendiente a conformar una alta calidad de vida en la condición de ciudad saludable, como para erradicar la contaminación diversa que provoca la ausencia de sitios receptivos de los efluentes que reduzcan al mínimo su impacto negativo [9].

La legislación nacional, provincial y municipal existente requiere la realización de una evaluación de impacto ambiental que describa las condiciones del medio receptivo del impacto – en sus diversas aunque interactivas facetas de medio abiótico, biótico y socioeconómico - para establecer el grado de afectación o deterioro negativo – impacto – que la realización y el funcionamiento del proyecto previsto generarán a cuyo fin, el estudio debe contemplar el análisis de las características técnicas y operacionales de la solución propuesta [9].

Dada la envergadura de esta obra, se sabe de antemano que se producirán efectos ambientales adversos durante la construcción de la misma y sobre todo durante su funcionamiento. Para ello se ha intentado otorgar al presente estudio el aporte de un conjunto detallado de medidas sugeridas de mitigación y/o gestión ambiental [9].

De esta manera, durante las fases de construcción y funcionamiento se podrían minimizar los impactos que se prevén ocurrirán y que, en muchos casos, acciones precautorias o de control pueden moderar eficazmente hasta tanto se advenga a la finalización del sistema de procesamiento de los efluentes [9].

8.2. Metodología

El estudio tuvo una primera fase de recopilación y análisis de la información, que permitió identificar y predecir las posibles alteraciones del medio que pudieran producirse en las distintas etapas de la obra en proyecto: construcción y funcionamiento.

La misma adoptó la forma de diagnóstico ambiental y fue el marco para el tratamiento del impacto ambiental del proyecto, en el que se incorporaron todos aquellos insumos provenientes de la fase de planificación integral del mismo, así como aquellos provenientes del campo ambiental.

Entre éstos últimos se destacan los condicionantes del proceso de diseño, tales como: la identificación de zonas de interés ecológico o recreativo, focos posibles de contaminación, situaciones de riesgo, condiciones del terreno para la instalación de la obra, condicionantes derivados de la trama circulatoria, de la infraestructura y la provisión de servicios entre otros.

La segunda fase consistió en la identificación y la ponderación de los impactos más significativos a ser tenidos en cuenta, los que son el resultado de la incidencia de aquellas acciones del Proyecto en sus fases de construcción y de operación.

Para la identificación de impactos se toma como base el Método Cualitativo Matricial de Leopold (Leopold, A., 1971) que utiliza matrices causa-efecto, cuadros de doble entrada con adaptaciones que se definieron para el caso particular del estudio en curso.

En ellas se identificaron las interrelaciones que pudieren ocurrir entre las principales acciones producidas tanto en etapa de construcción como en la de funcionamiento y los principales componentes del medio natural y socioeconómico.

La identificación y evaluación de los impactos potencialmente significativos y los cambios a que den lugar será analizada mediante técnicas y métodos de calificación que se basan en ponderar cada uno de los impactos según criterios que tendrán en cuenta:

Signo (+ o -) o calidad ambiental: Se refiere a cómo modifica las condiciones ambientales previas; este criterio pondera impactos positivos (+) y negativos (-). A los efectos de una mejor visualización los primeros son identificados en la matriz con color verde y los segundos con color rojo.

Intensidad (i): Se refiere al grado de afectación de los factores del medio en relación al estado de los mismos establecido en el diagnóstico. La valoración está comprendida entre 1 y 12, en el que 12 expresará una destrucción total del factor y 1 una afectación mínima.

Extensión (EX): Se refiere al área de influencia del impacto. El mínimo valor es 1, cuando una acción es de efecto puntual (menor al 20% del área de influencia). Sigue un valor de 2 cuando la extensión es parcial (mayor al 20% y menor al 50%), 4 si es extenso (más del 50 % y menos de 80%), 8 si el efecto es generalizado en toda el área (entre 80 y 100%) y 12 cuando la ubicación es crítica por el hecho de producirse en sitios de elevada importancia ecológica.

Momento (MO): Alude al tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del impacto sobre el factor del medio considerado. Tiempo nulo corresponde a 8, un intervalo dentro del primer año será inmediato y le corresponderá el valor 4. Entre 1 y 5 años, el valor será de 2 y si el efecto tarda en manifestarse más de 5 años el valor será de 1.

Persistencia (PE): Se refiere al tiempo de permanencia del efecto una vez generado el impacto. Impactos fugaces (1) son de menos de un año de persistencia, entre 1 y 10 años son temporales (2) y si superan los 10 años, son permanentes (4).

Reversibilidad (RV): Alude a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez finalizada la acción sobre el medio. Impactos de corto plazo son reversibles en menos de 2 años (1), de medio plazo (2) entre 2 y 10 años y si son irreversibles (4), no podrán volver a sus condiciones iniciales de forma natural.

Sinergia (SI): Debe interpretarse como el reforzamiento de dos o más efectos simples. Se asigna una valoración de 1 cuando dicho fenómeno no se produce. Luego corresponderán los valores 2 o 4 de acuerdo a que tan pronunciada es su magnitud.

Acumulación (AC): Fenómeno mediante el cual los efectos son incrementales progresivamente. El valor es de 1 cuando es simple y 4 cuando es acumulativo.

Efecto (EF): De acuerdo a su manifestación o forma de operar sobre el medio será directo (4) o indirecto (1).

Periodicidad (PR): Es la manifestación de la posibilidad de ocurrencia del efecto en el tiempo: irregular o errático (1), periódico (2) y continúo (4).

Recuperabilidad (RC): Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, por medio de la intervención humana: efecto recuperable inmediatamente (1), recuperable a lo largo de un período de tiempo (2), mitigable o recuperable en forma parcial, (8) e irrecuperable (10).

Una vez cuantificados los atributos de cada impacto se confecciona la correspondiente matriz de impacto ambiental en la que cada casilla de cruce corresponde a un impacto. Para expresar la importancia (I) del impacto numéricamente se aplica la siguiente función.

$$I = +/- (3\,i + 2\,EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC) \quad \text{(Ec. 97)}$$

Siguiendo estos criterios los impactos quedarán ponderados de la siguiente manera y simbología (Tabla 149).

Tabla 149. Ponderación de los impactos según su intensidad.

Valor de Intensidad (I)	Tipo de Impacto
Mayores a 0	Positivo
Entre 0 y -25	Leve
Entre -25 y -50	Moderado
Entre -50 y -75	Severo
Inferior a -75	Crítico

Se han cuantificado únicamente los impactos negativos, ya que los positivos no resultarían comparables con los valores de los primeros. Los casilleros en blanco representan acciones que no producen impacto identificable (valor igual a cero).

Con posterioridad, se desarrolla la suma de los impactos de cada acción, por columnas, lo que permite identificar las acciones más significativas. Asimismo, la suma del efecto de cada factor por filas permite conocer los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias del Proyecto.

Esta evaluación permite la definición de parámetros ambientales de diseño ajustado del proyecto, y da lugar al desarrollo de la Tercera Fase en la que se plantean las medidas de mitigación a aplicar para minimizar los impactos negativos y potenciar los positivos, las que se incluyen en la elaboración de un plan de gestión ambiental [9].

Las medidas de mitigación tanto para la etapa de obra como la etapa de operación incorporan al procedimiento de EIA, aquellas acciones correctoras, protectoras o compensatorias de orden tecnológico, operativo, de tamaño, de diseño, o de localización, etc., necesarias para conducir a niveles aceptables aquellas situaciones donde se rebasen límites ambientales, tanto durante la etapa de obras como durante la etapa de operación o funcionamiento del proyecto [9].

A tal efecto las medidas mitigatorias para la etapa de obra se referirán a:

- Movimiento de maquinaria
- Controles y cuidados en área obrador
- Control de polvos, ruidos y derrames de líquidos contaminantes
- Control de disposición final de materiales excedentes de obra en sitios habilitados

- Limpieza final y recomposición de áreas degradas (proximidad de obras, obrador, campamento).
- Señalización y vallado adecuados en actividades de obra y desvíos, diurno y nocturno.

Las medidas mitigatorias para la etapa de operación están condicionadas por impactos derivados del diseño del Proyecto y de sus ajustes ambientales y se agruparon en seis rubros esenciales:

- Medidas para el control de las emisiones gaseosas
- Medidas para el control de vertidos líquidos
- Medidas para el tratamiento de los residuos sólidos asimilables a urbanos
- Tratamiento de áreas a forestar y/o parquizar

El Plan de Gestión Ambiental constituye el instrumento de seguimiento que permite contrastar el grado de acierto o pertinencia de las predicciones realizadas y las medidas adoptadas para mitigarlas [9].

El mismo incluye una serie de indicadores de monitoreo y seguimiento a través de la identificación de parámetros que permitan verificar la eficiencia y cumplimiento de las medidas de mitigación referidos a control de erosión, afectación de la calidad del aire y del agua, alteración de flora, fauna y recursos culturales, alteración de paisaje, entre otros [9].

8.3. Delimitación del Área de Influencia del proyecto

8.3.1. Jurisdicciones involucradas - Localización geográfica

El área de estudio corresponde al partido de Necochea, ubicado sobre la costa atlántica del sur de la Provincia de Buenos Aires. El partido linda al Oeste con el partido de San Cayetano, al Norte con el partido de Benito Juárez, al Este con los partidos de Tandil y Lobería y al Sur con el Mar Argentino (Figura 57). La superficie total del partido es de 4.791,57 km^2.

Los dos centros urbanos más importantes son Necochea y Quequén, ubicados a orillas opuestas del río Quequén Grande (Figura 58). Ambas ciudades conforman un mismo sistema urbano de rango intermedio, cuyo rol es reconocido como centro de servicios zonal. [18].

Necochea es la ciudad cabecera del partido homónimo, importante centro turístico, fundado en 1881 sobre la margen derecha del río Quequén Grande. La ciudad de Quequén, con uno de los principales puertos cerealeros de Argentina, fue fundada en el año 1854 y se sitúa en la margen izquierda del río. En 1979, dejó de pertenecer al partido de Lobería para ser anexada al partido de Necochea por el gobierno de la provincia de Buenos Aires. El desarrollo de Quequén estuvo envuelto en "un sentimiento histórico de marginalidad institucional" [9], en el que aún hoy existen movimientos independentistas [8].

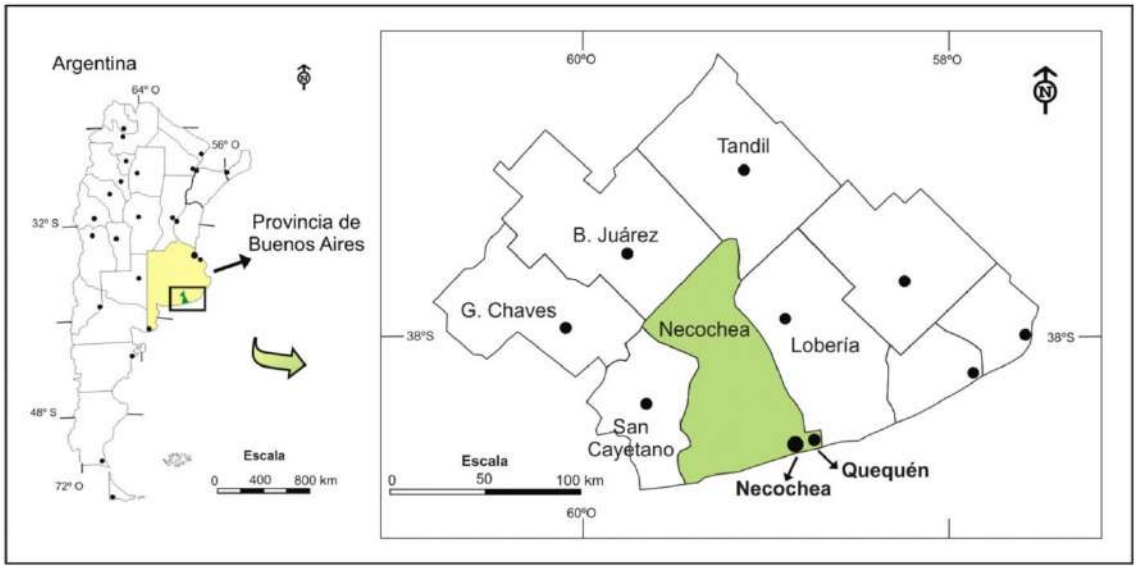


Figura 57. Ubicación del Partido de Necochea y sus ciudades principales [8].

A su vez, el Partido de Necochea cuenta con cinco localidades mediterráneas de menor tamaño: éstas son Juan N. Fernández, Nicanor Olivera, Claraz y R. Santamarina y Energía (Figura 59). Todas comparten similitudes en antigüedad y criterios fundacionales, como en origen de la población, servicios básicos existentes, grado de ordenamiento territorial y de organización social [19]. Si bien presenta distintas escalas de desarrollo, la problemática que les es similar a todas es su distancia con la cabecera del Partido (Tabla 150).

Figura 58. Imagen satelital del núcleo urbano Necochea-Quequén [8].

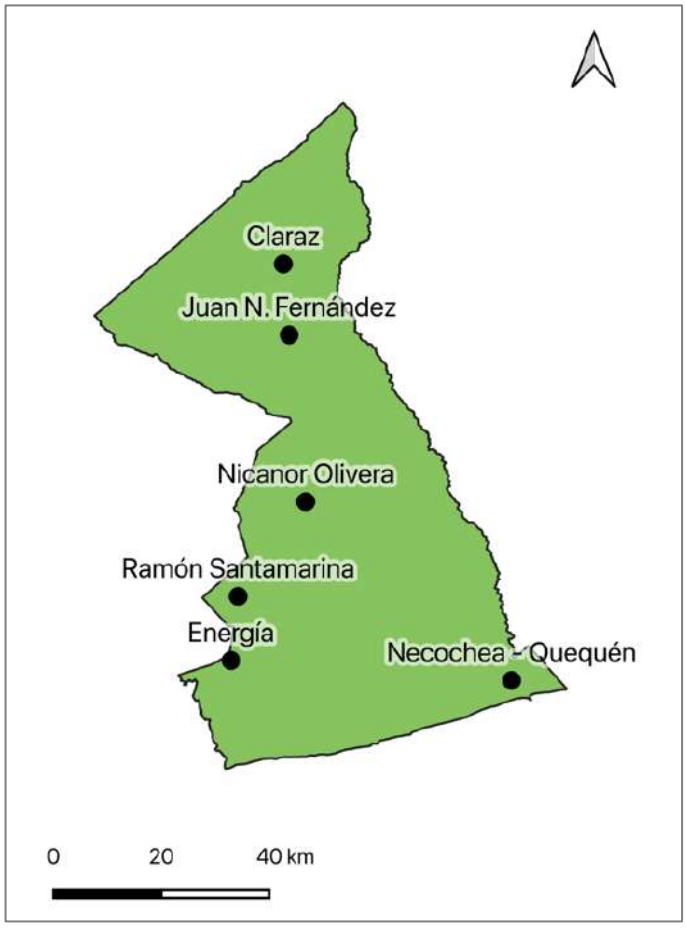


Figura 59. Ubicación de las localidades del Partido de Necochea. Elaboración propia en QGIS 3.10.4 a partir de WFS-IDERA.

Tabla 150. Distancias de las localidades a la ciudad cabecera del Partido.

Localidad	Distancia a ciudad de Necochea
Energía	55 km
Nicanor Olivera (Estación La Dulce)	56 km
Ramón Santamarina	60 km
Juan N. Fernández	79 km
Claraz	94 km

8.3.2. Sitio de emplazamiento del proyecto

El predio seleccionado para desarrollar el proyecto de Complejo Ambiental para la Disposición Final de los RSU del Partido de Necochea se ubica a 12 km del centro de la ciudad capital del Partido. Se trata de un área de 330 ha que incluyen el actual sitio de disposición final

(SDF). La ubicación relativa y absoluta del predio, referido como Complejo Ambiental Proyectado (CAP), se presenta en la Figura 60.

8.3.3. Área de influencia

El área de influencia del proyecto es el espacio físico en donde se manifestarán los posibles efectos e impactos de la obra. Los mismos pueden afectar la totalidad del medio ambiente o alguno de sus componentes naturales, sociales o económicos, por causa de los cambios de infraestructura, accesibilidad, costos de transporte, efectos físicos sobre el medio, etc.

En este caso se respetarán los criterios establecidos por el BID para la definición de las áreas de influencia en Programas GIRSU [31].

- Área de influencia Indirecta (AII): Abarca los municipios con influencia del proyecto y aquellos que posean importantes relaciones de accesibilidad al mismo.
- Área de Influencia Directa (AID): incluye las áreas de localización de la infraestructura asociada al proyecto y los centros de concentración poblacional existentes en un diámetro de 30 kilómetros (iglesias, escuelas, veredas, poblados, ciudades y otros).

8.3.4. Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta (AII) es el territorio en el que se manifiestan los impactos ambientales indirectos o inducidos, es decir aquellos que ocurren en un sitio diferente a donde se produjo la acción generadora del impacto ambiental, y en un tiempo diferido con relación al momento en que ocurrió la acción causante del impacto ambiental.

En este proyecto el área de influencia indirecta se circunscribe a la totalidad del partido de Necochea, con una superficie total de 4.791,57 km^2.

8.3.5. Área de influencia directa

El Área de Influencia Directa (AID) fue definida en una extensión de 15 km de radio respecto del emplazamiento del Proyecto debido a los impactos que pueden provocar algunos de los aspectos más representativos del mismo. Estos son el aumento de tránsito vehicular, la afectación sobre el paisaje, la calidad del aire y la fauna avícola, la proliferación de vectores y la posible afectación tanto sobre el recurso hídrico subterráneo como sobre el recurso hídrico superficial.

Quedan incluidos en el AID la totalidad del conglomerado urbano Necochea-Quequén, el puerto Quequén, 24 km de franja costera, casi 10 ha de mar, y el aeródromo municipal, por la cercanía al sitio de emplazamiento y su susceptibilidad es elevada, a pesar del poco uso del mismo (Figura 60).

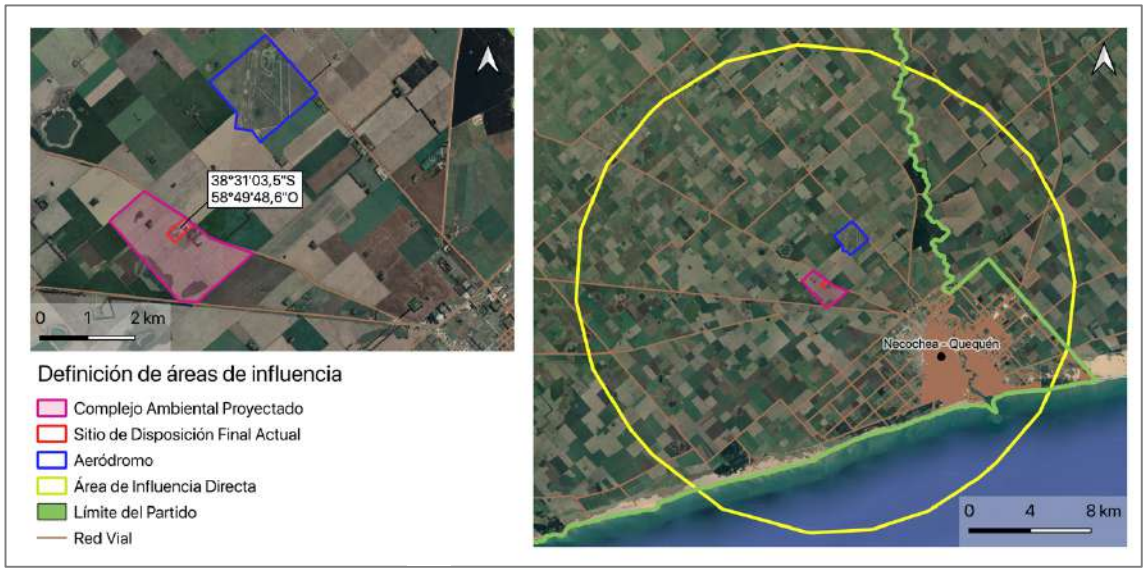


Figura 60. Área de influencia directa del Proyecto. Elaboración propia en QGIS 10.3.4, datos WFS de IDERA, 2020.

Tabla 151. Información correspondiente al aeródromo de Necochea.

Código aeropuerto AITA o IATA	NEC
Código OACI o ICAO	SAZO
Municipio	Necochea
Longitud total de pista	1 500 m
Latitud	-38.4896 / 38° 29' 23" Sur
Longitud	-58.8161 / 58° 48' 58" Oeste
Altitud	22 m
Huso horario	UTC -3:00 (América/Argentina/Buenos Aires) *El horario de verano y el horario de invierno son los mismos que el horario estándar*

8.4. Descripción del proyecto

El proyecto sujeto a la presente Evaluación de Impacto Ambiental corresponde a la construcción y operación de la planta de tratamiento de efluentes lixiviados provenientes del futuro relleno sanitario del Partido de Necochea.

Actualmente, dicho efluente no es captado ni tratado en el sitio de disposición final de RSU del municipio. Dicho predio no cuenta con los requisitos mínimos para la correcta disposición de los residuos y actualmente opera como un basural semicontrolado. Si bien no hay estudios realizados en el predio, existe una contaminación del suelo y del agua subterránea por la falta de tratamiento de los lixiviados. Los niveles de contaminación deben ser debidamente cuantificados con antelación a la ejecución del proyecto, con el objetivo de conformar una línea de base para el Plan de Monitoreo tanto de la planta de tratamiento de efluentes, en particular, como del relleno sanitario, en general.

Para conocer la calidad del efluente a tratar, se analizaron diversas fuentes bibliográficas como también algunos análisis fisicoquímicos realizados en lixiviados de otros rellenos sanitarios de la Provincia de Buenos Aires [108]. Consecuentemente, los valores de diseño empleados no representan necesariamente la caracterización del efluente real. Para contrastar dicha información, se debería implementar un muestreo sistemático de los efluentes lixiviados generados hoy en día en el predio.

El marco normativo de aplicación para evaluar la calidad de esta descarga es la Resolución 336/2003 de la Provincia de Buenos Aires. El vuelco del efluente por medio de la absorción por suelo, y parcialmente se reutilizará el mismo para riego de caminos. El efluente lixiviado crudo no es apto para su vuelco sin el tratamiento exhaustivo propuesto en el proyecto, ya que presenta elevadas cargas de contaminantes orgánicos y de nutrientes, en especial, de nitrógeno amoniacal.

El partido de Necochea cuenta con una población cercana a los 100.000 habitantes, una actividad turística estival de importancia regional, y un sostenido crecimiento urbanístico, consecuentemente, es de suma importancia iniciar las acciones de adecuación del sitio de disposición final de RSU y, en particular, del tratamiento de los efluentes lixiviados de modo de reducir los impactos negativos sobre el medio terrestre y hídrico receptor.

Para cumplir este objetivo, y con el fin de contar con el espacio necesario para desarrollar las obras para la depuración del efluente, en la Figura 60, se observa la posición de este predio respecto al conglomerado urbano Necochea-Quequén.

El proyecto ejecutivo consiste en la construcción y operación de una planta de tratamiento de 45 m3/diarios de capacidad con las siguientes etapas:

1. Pretratamiento en pozo de bombeo
2. Laguna de ecualización
3. Tratamiento primario fisicoquímico de coagulación, floculación, sedimentación
4. Tratamiento secundario avanzado con biorreactor de membranas (MBR)
5. Remoción de nutrientes por medio de nitrificación y desnitrificación
6. Tratamiento terciario con carbón activado
7. Deshidratación de lodos

Se estima que los trabajos de construcción duren un período de 3 meses. La vida útil de la planta es de 20 años, pero su continuidad es factible conforme se respete una adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones y equipos.

8.4.1. Acciones identificadas

8.4.1.1. En fase de construcción

Durante la construcción se identifican las siguientes actividades susceptibles de generar impactos en el medio:

A. Desmonte y nivelación del terreno
B. Movimiento de camiones y maquinaria pesada
C. Instalación de obrador
D. Obra civil
E. Excavación y construcción de laguna
F. Montaje electromecánico

G. Consumo de materiales y servicios
H. Forestación y Parquización

8.4.1.2. En fase de funcionamiento

Durante la operación, se identifican las siguientes actividades susceptibles de generar impactos en el medio:

I. Tratamiento del efluente
J. Actividades vinculadas a la operación normal de la planta
K. Operación anormal: By Pass (acción que puede ocurrir ante un problema de funcionamiento de la planta, por rupturas de alguna de las instalaciones, o cualquier otro factor de contingencia).
L. Gestión de residuos
M. Gestión de lodos
N. Capacitación del personal
O. Limpieza y mantenimiento de las instalaciones
P. Vuelco y/o reúso del efluente tratado

8.5. Marco legal e Institucional

Los aspectos legales e institucionales son unas de las variables de mayor importancia en la gestión de residuos, puesto que constituyen uno de los catalizadores principales en las mejoras introducidas en la gestión de residuos [31].

A continuación, se presenta una matriz que identifica y sintetiza la legislación argentina más significativa, en sus tres niveles legislativos, aplicable a los Proyectos del GIRSU en sus aspectos ambientales, sociales y de seguridad e higiene.

8.5.1. Normativa Nacional

Tabla 152. Marco legal nacional aplicable a la GIRSU [31].

TEMA	NORMA	DESCRIPCIÓN
ORGANIZACIÓN POLÍTICA (DOMINIOS Y COMPETENCIAS)	Constitución Nacional	Art. 31 Atribución de funciones a los poderes de gobierno, distribución de competencias, tratados de integración. Art. 75 Competencias del Congreso de la Nación. Art. 121 Delegación Poder Nacional Constitución Nacional Art. 124/125 Facultad de las provincias mediante. Acuerdos para crear regiones con el fin de lograr el desarrollo económico y social.
NORMATIVA DE FONDO	Código Civil Argentino	Art. 1.113 Responsabilidad Objetiva. Art. 2.499 Daños a bienes personales. Art. 2.618 Inmisiones y propagaciones.
	Código Penal Argentino	Art. 200 al 208 Delitos contra la Salud Pública. Envenenar o adulterar aguas potables.
PROTECCIÓN AMBIENTAL GENERAL	Constitución Nacional	Art. 41 Derecho al Ambiente Sano. Art. 43 Amparo Ambiental. Art. 124 Dominio Provincial Originario de los Recursos Naturales.
	Pacto Federal Ambiental	Coordinación de la política ambiental en la República Argentina. Compatibilizar e instrumentar en sus jurisdicciones la legislación Ambiental. Impulsar capacitación, formación y participación comunitaria. El estado Nacional está representado en el COFEMA.
	Ley General del Ambiente (N° 25.675)	Presupuestos mínimos de protección ambiental a nivel nacional. Establece la figura de Daño Ambiental. Determina los instrumentos de gestión ambiental, EIA uno de ellos. Determina el libre acceso a la información ambiental y la participación ciudadana.
RSU	Ley Nº 25.916	Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Domiciliarios La gestión de los RSD es de competencia municipal. Promueve la valorización de los RSD, minimización e impactos sobre el ambiente. El término residuo domiciliario condice con el concepto de residuos sólidos urbanos al contemplar no sólo los residuos de origen residencial sino también los provenientes del aseo urbano y los de demás orígenes asimilables a aquellos.
AIRE	Ley N° 20.284	Reglamenta los parámetros de calidad de aire y emisiones a la atmósfera.
SUELO	Ley N° 22.428	Regula la conservación y recuperación de la capacidad productiva de los suelos.
AGUA	Ley N° 25.688	Fija los presupuestos mínimos para la gestión ambiental del agua.
PARQUES NACIONALES Y ÁREAS DE CONSERVACIÓN	Ley N° 22.351	Determina las definiciones, alcances y habilitaciones para parques nacionales, monumentos naturales, reservas nacionales y áreas de conservación.
PATRIMONIO CULTURAL	Ley N° 25.743	Regula la preservación y protección del patrimonio arqueológico y paleontológico. Determina procedimiento para hallazgos arqueológicos, propiedad y responsabilidades.
TEMA	NORMA	DESCRIPCIÓN
SEGURIDAD E HIGIENE	Ley N° 19.587	Regula las condiciones de Seguridad e Higiene en el trabajo en todo el territorio nacional.
	Decreto Nº 911/1.996	Reglamento de seguridad e higiene en el sector de la construcción.
	Ley N° 24.557	Regula lo referente a los riesgos del trabajo, accidentes y licencias.
ACCESO A LA INFORMACIÓN	Ley N° 25.831	Régimen de libre acceso a la información pública ambiental. Garantiza el derecho de acceso a la información ambiental que se encontrare en poder del estado en todos sus niveles, los entes autárquicos y las empresas de servicios.
	Decreto N° 1.172/2003	Reglamento General de Audiencias Públicas para el Poder Ejecutivo Nacional. Reglamento General para la Publicidad de la Gestión de Intereses en el ámbito del Poder Ejecutivo Nacional.

8.5.2. Normativa Provincial

Tabla 153. Marco legal provincial aplicable a la GIRSU [12].

TEMA	NORMA	DESCRIPCIÓN
PROTECCIÓN AMBIENTAL GENERAL	Constitución Provincial	Art. 28 Derecho al Ambiente.
	Ley N° 13.928	Acción de Amparo.
	Ley Nº 11.723 modificada por Ley N° 13.516	Ley General del Ambiente, sus instrumentos de política ambiental son: Planificación y ordenamiento ambiental: aplicable a la localización de actividades productivas de bienes y/o servicios, en el aprovechamiento de los recursos naturales y en la localización y regulación de los asentamientos humanos. Evaluación de Impacto Ambiental: aplicable a los proyectos consistentes en la realización de obras o actividades que produzcan o sean susceptibles de producir algún efecto negativo al ambiente de la provincia de Buenos Aires y/o sus recursos naturales. La Información Ambiental: obligación a cargo de las entidades oficiales de suministrar a las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, que así lo soliciten, la información de que dispongan en materia de medio ambiente. La Educación Ambiental: deber de las entidades oficiales de asegurar la educación de sus habitantes.
RSU	Ley Nº 11.723	Art 65. La gestión de todo residuo que no esté incluido en las categorías de residuo especial, patogénico y radioactivo, será de incumbencia y responsabilidad municipal. La gestión municipal implementará los mecanismos tendientes a: a) La minimización en su generación. b) La recuperación de materia y/o energía. c) La evaluación ambiental de la gestión sobre los mismos. d) La clasificación en la fuente. e) La evaluación de impacto ambiental, previa localización de sitios para disposición final.
	Ley Nº 13.592	Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Incluye los residuos industriales no peligrosos.
	Res. N° 1.143/2002	Criterios para diseño y operación de rellenos sanitarios. Establece que los rellenos sanitario son establecimientos de segunda categoría. El relleno sanitario deberá establecerse en áreas cuya zonificación catastral sea Rural. Deberá existir una distancia mínima al limite de la traza urbana de 1.000 m.
	Res. N° 1.143/2002	Registro de tecnologías para el tratamiento de RSU.
AGUA	Ley N° 12.257	Código de Aguas de la provincia Régimen de protección, conservación y manejo del recurso hídrico.
	Res. ADA 289/08	Solicitud de permisos.
	Res. ADA 241/2007	Plazos y Permisos de Uso.
	Res. ADA 336/2003	Límites admisibles para el vuelco de efluentes líquidos.
	Ley N° 5.965/1958	Protección a fuentes de provisión, cursos y cuerpos receptores de agua y a la atmósfera; regula la disposición de efluentes residuales, tanto sólidos, líquidos como gaseosos.
EIA	Ley N° 13.516	Ley General de Ambiente: Establece la EIA como instrumento de gestión Socio ambiental.
	Res. SPA N° 538/99	Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental
	Ley N° 11.459	De radicación industrial. Fija categorización por la que se rige la Provincia. El Certificado de Aptitud Ambiental será otorgado por el propio Municipio en los casos de establecimientos calificados de primera y segunda categoría.
RUIDOS	Res. N° 159/1996	Revisión, método de medición y clasificación de ruidos molestos al vecindario, fijado por la Norma IRAM 4062:2001-05.
	Res. N° 94/2002	
ACCESO A LA INFORMACIÓN	Ley N° 11.723	Crea y regula el Sistema Provincial de Información Ambiental.

8.5.3. Normativa Municipal

Tabla 154. Marco legal municipal aplicable a la GIRSU [109] [18].

TEMA	NORMA	DESCRIPCIÓN
ORGANIZACIÓN POLÍTICA	Decreto 6769/58 y modificaciones	Ley Orgánica Municipal. Rige el funcionamiento de los municipios en la Provincia de Buenos.
	Ord. Gral Nº 267/80	Ordenanza general para todos los partidos de la Provincia de Buenos Aires. Regula el procedimiento administrativo municipal.
ORDENAMIENTO TERRITORIAL	Ley 8.912	Los municipios establecen sus marcos ordenadores para el uso de la tierra, sujeto a los lineamientos para la planificación del territorio fijados por la Provincia.
	Ordenanza 2.005/81	Código de zonificación según usos del territorio del Municipio de Necochea.
POLÍTICA AMBIENTAL	Ordenanza 2.833/93	Determina los objetivos de la política ambiental del Partido de Necochea, siendo éstos la preservación y el mejoramiento del medio ambiente; el cuidado y el uso racional de sus componentes naturales y culturales. Establece la regulación por parte de la Municipalidad de Necochea de toda actividad y obra que fuere, aún potencialmente, fuente de contaminación o degradación.
	Ordenanza 2.015/90	Declara de interés público prioritario la preservación, el mantenimiento, el mejoramiento y la recuperación de los recursos naturales y el ambiente humano para el logro de una óptima calidad de vida para los habitantes del municipio.
PROTECCIÓN AMBIENTAL GENERAL	Resolución N° 954/91	Regula estudios sobre la contaminación del Río Quequén.
	Resolución N° 991/91	Establece la necesidad de la preservación, la prevención y la concientización en todo lo referente al medio ambiente.
	Decreto N° 635/92	Declara de Interés Ecológico Municipal el Río Quequén.
RUIDOS	Decreto 79/08 Ordenanza 4.376/00 Ordenanza 5.804/06	Regula y controlarla emisión de ruidos molestos en el área del Municipio de Necochea, remitiéndose a la norma IRAM 4062 utilizada en resto del ámbito provincial, con la finalidad de erradicar la contaminación acústica.
	Ordenanza 3.472/96	Establece la de la obligación de utilizar dispositivos silenciadores del escape de vehículos y el control sobre la misma.
PATRIMONIO CULTURAL Y AMBIENTAL	Ordenanza 4.238/00 Ordenanza 7.106/10	Código de Preservación Patrimonial, constituyendo el marco legal para las acciones de salvaguarda, restitución, acrecentamiento y transmisión a las generaciones futuras del Patrimonio Cultural y Ambiental dentro del Municipio de Necochea.
PATRIMONIO CULTURAL Y AMBIENTAL	Ordenanza 3.653/97	Establece la necesidad de protección y conservación del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico dentro del municipio. Determina la obligación de denunciar los hallazgos o la factibilidad de su existencia ante la Dirección de Cultura del Departamento Ejecutivo Municipal.
AGUA Y AIRE	Resolución 1.268/92 Resolución 1.143/92	Reitera el interés en cuanto a la información para adherir a la Ley Provincial Nº 5.965 de Protección a las Fuentes de Provisión y a los Cursos y Cuerpos Receptores de Agua y a la Atmósfera.

8.5.4. Normativa específica de la Disposición Final

Tabla 155. Marco legal en torno al sitio de disposición final de la GIRSU. Normativa Nacional, Provincial y Municipal.

TEMA	NORMA	DESCRIPCIÓN
RSU: SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL	NACIONAL Ley Nº 25.916	Artículo 18. — Las autoridades competentes establecerán los requisitos necesarios para la habilitación de los centros de disposición final, en función de las características de los residuos domiciliarios a disponer, de las tecnologías a utilizar, y de las características ambientales locales. Sin perjuicio de ello, la habilitación de estos centros requerirá de la aprobación de una Evaluación de Impacto Ambiental, que contemple la ejecución de un Plan de Monitoreo de las principales variables ambientales durante las fases de operación, clausura y postclausura. Artículo 19. — Para la operación y clausura de las plantas de tratamiento y de las estaciones de transferencia, y para la operación, clausura y postclausura de los centros de disposición final, las autoridades competentes deberán autorizar métodos y tecnologías que prevengan y minimicen los posibles impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población. Artículo 20. — Los centros de disposición final deberán ubicarse en sitios suficientemente alejados de áreas urbanas, de manera tal de no afectar la calidad de vida de la población; y su emplazamiento deberá determinarse considerando la planificación territorial, el uso del suelo y la expansión urbana durante un lapso que incluya el período de post-clausura. Asimismo, no podrán establecerse dentro de áreas protegidas o sitios que contengan elementos significativos del patrimonio natural y cultural.
	PROVINCIAL Ley Nº 13.592	Artículo 11.- Los Programas de Gestión Integral de residuos sólidos urbanos incluirán la selección de los sitios de disposición final dentro de sus propias jurisdicciones municipales, ya sea en forma individual o teniendo en cuenta la regionalización a la que se refiere el artículo anterior. Artículo 13.- Los sitios de disposición final deberán estar separados de los pozos para extracción de agua potable para uso doméstico o industrial por una distancia mínima de 100 m superior a la proyección horizontal del cono de abatimiento del mismo en régimen de extracción normal. Si la distancia resultante es menor a 1000 m, será ésta la distancia mínima a respetar. Asimismo, no se instalarán centros de disposición final en zonas de recarga de acuíferos que deberán ser utilizados aguas abajo como sistema de captación de agua para uso humano. El operador deberá aplicar en cada sitio un Plan de Higiene en la Disposición Final de Residuos que contemple el tratamiento biológico de aves, ratas, moscas, mosquitos y otros insectos, a los efectos de minimizar los vectores de transmisión de enfermedades infecciosas hacia trabajadores o para localizaciones urbanas radicadas en las cercanías. Asimismo el Centro de Disposición deberá contar con un lavadero de ropa de trabajo del personal, a los efectos de evitar la contaminación externa. Artículo 14.- La Autoridad Ambiental Provincial fijará las pautas técnicas y metodológicas para la ubicación, diseño, operación, cierre y post-cierre de los sitios de disposición final, conforme lo determine la reglamentación de la presente, y ejercerá el control y fiscalización de los mismos.
	MUNICIPAL Pliego Básico de Condiciones	Artículo 64º. Características del predio para instalación de la planta de tratamiento: El oferente proveerá como mínimo un predio cuya superficie no será inferior a 20 hectáreas. Si se agotara su capacidad receptiva en el transcurso del mismo, deberá el oferente proveer sucesivos predios. Dicho predio se hallará ubicado de acuerdo a las siguientes condiciones: Zona apta según Ley Provincial 11.459 y ordenanza de zonificación vigente Nº 2005. Otras zonas excluidas del casco urbano y reserva acuífera que proponga el oferente. Esta alternativa deberá ser aprobada por la vía de excepción. La Municipalidad calificará priorizando la localización del predio conforme al orden de las condiciones citadas. El acceso a dichos predios deberá estar garantizado bajo cualquier condición climática, Los trabajos necesarios para el cumplimiento de esta condición se suponen incluidos en el precio cotizado. En el caso que por diferentes motivos el camino de acceso se deteriore impidiendo su transito normal, el concesionario deberá solucionar el problema a su costo y con la supervisión del E.V.R.N. Los predios ha utilizar por el adjudicatario durante la vigencia total del contrato deberá ser autorizado por la Municipalidad.

8.5.5. Análisis de implicancias para el Proyecto

En resumen, los centros de disposición final de RSU forman parte de la gestión de residuos de órbita municipal, como se define en el Art. 65 de la Ley General del Ambiente Provincial. Los rellenos sanitarios requieren de la presentación de una Evaluación de Impacto

Ambiental al ser establecimientos de segunda categoría (Res. SPA 1143/02). Asimismo, es el propio Municipio quien debe extender el Certificado de Aptitud Ambiental, según lo indica la Ley Provincial N° 11.459.

Asimismo, se requiere que los rellenos sanitarios cuenten con métodos y tecnologías autorizados especialmente que prevengan y minimicen los posibles impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población en todas sus etapas: construcción, operación y post cierre (Ley Nacional Nº 25. 916).

En cuanto a la localización, esta debe ser en sitios:

- De zonificación rural, suficientemente alejados de áreas urbanas, considerando la planificación territorial, el uso del suelo y la expansión urbana durante un lapso que incluya el período de post clausura.
- No inundables
- Fuera de áreas protegidas o sitios que contengan elementos significativos del patrimonio natural y cultural.
- A una distancia mínima de aeropuertos y/o aeródromos de 3.000 metros en el caso que operen aviones de motor a turbina; 1.500 metros si operan aviones de motor a pistón o turbohélice.

En el caso considerado, las normas de zonificación mencionadas no son de mayor relevancia para el proyecto, ya que la construcción de nuevas instalaciones está dentro de la zonificación rural.

En lo que respectan los ruidos molestos, las normas presentadas regulan tantos las fuentes fijas como las móviles, debiendo considerarse las exigencias tanto para la etapa de obra como de operación.

Todos los criterios técnicos referidos la ubicación, construcción, operación y cierre de los rellenos sanitarios son establecidos en la Res. Nº1143/02 de entonces Secretaría de Política Ambiental Provincial (hoy OPDS), Anexo I: Normativa para la disposición de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios. Carga diaria a disponer mayor a 50 toneladas.

8.5.6. Actores institucionales de la GIRSU

8.5.6.1. Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible – OPDS

A partir de la estructura organizativa aprobada a fines del año 2007, la autoridad encargada de velar por la protección del ambiente es el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) que continúa las funciones de la entonces Secretaría de Política Ambiental.

El OPDS, creado en el Artículo 31 de la Ley de Ministerios 13.757, es la autoridad de aplicación en materia ambiental en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires, como entidad autárquica de derecho público en la órbita del Ministerio de Jefatura de Gabinete y Gobierno.

Entre las funciones que se le atribuyeron podemos destacar las siguientes:

- Planificar, formular, proyectar, fiscalizar, ejecutar la política ambiental, y preservar los recursos naturales; ejerciendo el poder de policía, y, fiscalizando todo tipo de efluentes, sin perjuicio de las competencias asignadas a otros organismos;
- Intervenir en la conservación, protección y recuperación de reservas, áreas protegidas, y bosques, de los recursos naturales y de la fauna silvestre, del uso racional y

recuperación de suelos, de protección y preservación de la biodiversidad, diseñando e implementando políticas a esos fines;

- Ejecutar las acciones conducentes a la fiscalización de todos los elementos que puedan ser causa de contaminación del aire, agua, suelo y, en general, todo lo que pudiere afectar el ambiente e intervenir en los procedimientos para la determinación del impacto ambiental;
- Fiscalizar, en el ámbito de su competencia, a los organismos que tengan a su cargo aspectos de la ejecución de la política ambiental que fije el Poder Ejecutivo;
- Intervenir en los procedimientos de prevención, determinación, evaluación y fiscalización en materia de residuos, sin perjuicio de los lineamientos que establecen las Leyes 11.347, 11.720 y 13.592 de las obligaciones que en ellas se establecen para los Municipios y del Decreto-Ley 9.111/78.

Por intermedio del Decreto 23/07 que reglamenta la Ley 13.757, se estableció la estructura organizativa del OPDS, estableciéndose de manera detallada las responsabilidades primarias de cada una de las diversas reparticiones que dependen de la Dirección Ejecutiva. Las dependencias de relevancia para el proyecto se ubican bajo la Subsecretaría de Fiscalización y Evaluación Ambiental: la Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental y la Dirección de Residuos Sólidos Urbanos. Se presenta el organigrama actualizado a enero de 2020 en la Figura 61.

Figura 61. Organigrama de OPDS [110].

8.5.6.2. Autoridad del Agua – ADA

Esta autoridad tendrá intervención, en función del Artículo 124 de la Constitución Nacional, en todo lo relativo a la obtención de permisos de vuelco, concesiones de uso de agua, y demás cuestiones vinculadas a la operatoria en tierra, como autoridad de aplicación de la Ley 12.357. Son atribuciones y funciones propias del ADA en su asistencia al PEP:

- Formular la política del agua
- Decretar reservas que prohíban o limiten usos y la constitución de derechos individuales sobre agua de dominio público
- Establecer preferencias y prerrogativas para el uso del agua, privilegiando el abastecimiento de agua potable; alentando criterios de reutilización de agua
- Fijar periódicamente por regiones y por categorías de uso, el canon y las contribuciones
- Determinar la dotación de agua a acordar a cada categoría o tipo de uso y a cada región
- Suspender el suministro de agua para uno o más usos en casos que lo ameriten
- Imponer restricciones y limitaciones al dominio privado

- Otorgar los derechos y cumplir todas las funciones que el Código le encomienda
- Supervisar y vigilar las actividades y obras relativas al estudio, captación, uso, conservación y evacuación del agua
- Promover programas de educación formal e informal sobre el uso racional del agua
- Coordinar un espacio interinstitucional con los órganos de la Administración Provincial competentes en materia de agua
- Dar cumplimiento a la Planificación Hidrológica para satisfacer las demandas de agua
- Equilibrar y compatibilizar el desarrollo regional y sectorial
- Incrementar la disponibilidad del recurso y proteger su calidad
- Establecer zonas de reserva
- Aplicar defensa contra las inundaciones y sequías
- Deberá confeccionar cartas de riesgo hídrico de las zonas que pueden ser afectadas por inundaciones
- Deberá prohibir el uso recreativo y el abastecimiento doméstico o el urbano de determinas aguas en salvaguarda de la salud pública
- Promover programas de educación formal e informal sobre el uso racional del agua

Figura 62. Organigrama ADA [111].

8.5.6.3. Municipalidad de Necochea

La Municipalidad de Necochea posee una estructura administrativa en la cual el área de Medio Ambiente se enmarca dentro de la Secretaría de Planeamiento, Obras y Servicios Públicos. En líneas generales aplica la normativa ambiental de la Provincia de Buenos Aires, en forma supletoria a las autoridades provinciales, dando aviso en su caso a las autoridades de OPDS o la Autoridad del Agua según sea la situación.

La mencionada Secretaría es el sector a cargo de la evaluación ambiental del proyecto en el ámbito del Municipio. El Arq. Ricardo Alberto Carrera es el Secretario, el Ing. Guillermo Botella es el Subsecretario, y el Sr. Adrián Ciancaglini es el responsable del área de Recolección de Residuos. Los últimos dos han sido entrevistados para el desarrollo de este proyecto [3] [6].

8.6. Línea de Base Socio Ambiental

8.6.1. Medio Físico Biológico

8.6.1.1. Clima

La región se encuentra bajo condiciones de un clima templado con influencia oceánica, cuya característica es el intercambio de masas de aire en la interfase tierra-mar. Aquello define condiciones térmicas medias mensuales moderadas con baja amplitud térmica.

Los parámetros presentados en esta sección incluyen las temperaturas media, máxima y mínima medias y absolutas, la amplitud térmica, la humedad relativa, la precipitación, la presión atmosférica y la velocidad media, máxima y frecuencia de dirección del viento. Los valores fueron publicados por Merlotto y Piccolo en 2009 y corresponden a mediciones realizadas en Necochea en dos períodos: 1950-1977 y 1997-2006. Para el primer período 1950-1977, las mediciones se corresponden a las obtenidas con la estación meteorológica del SMN, ubicada inicialmente en el área del puerto. En el año 1968 fue trasladada al ámbito rural. La serie de precipitaciones mensuales se completó con datos pertenecientes a Ecos Diarios de Necochea para los años 1978-1999 (datos anuales). Para el período 1997-2006, se utilizó la serie de datos obtenidos por la estación meteorológica perteneciente al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), ubicada en la cercanía del puerto Quequén (38°34'27" S; 58°42'13" O), a 12,5 km del epicentro del área de influencia directa (Relleno Sanitario). Los mismos fueron registrados con un intervalo de medición de 30 minutos y procesados bajo un exhaustivo análisis de control de calidad. El conjunto de datos fue procesado por Merlotto y Piccolo (2009) mediante técnicas estadísticas estándar. Los coeficientes de correlación de las tendencias obtenidas fueron evaluados empleando el Test t-Student de dos colas y se obtuvieron valores significativos a niveles de 0,01 o 0,05 [85].

La Figura 63 presenta las distribuciones de los valores medios mensuales para las temperaturas y las precipitaciones del conglomerado Necochea-Quequén.

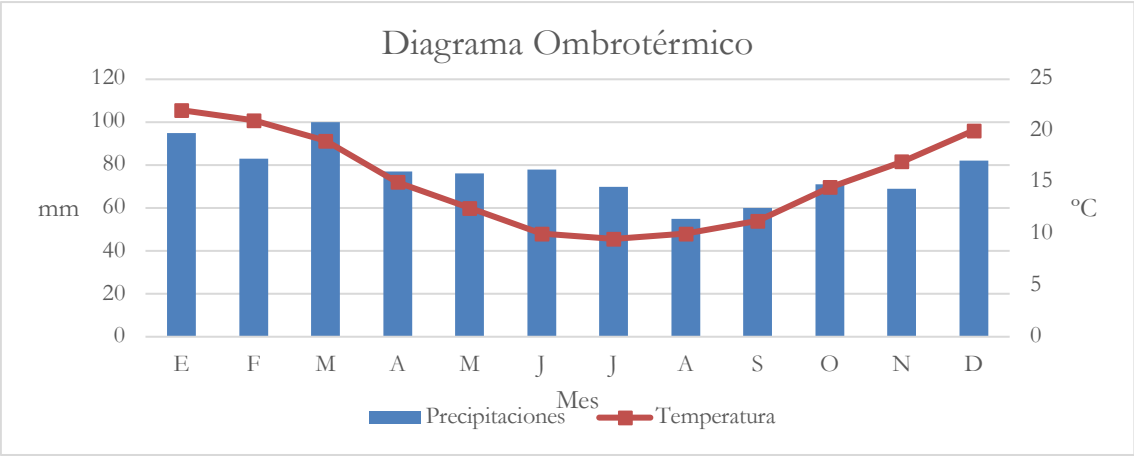


Figura 63. Distribución anual de la temperatura media mensual (1997-2006) y del régimen pluviométrico medio mensual (1950-1977) para Necochea. Elaboración propia a partir de [85].

En la Tabla 156 se presentan los valores de temperatura promedios, máximos medios y mínimos medios estacionales y anuales para la región. La temperatura media anual es de 15,1ºC para el período 1997-2006, lo que corresponde 1ºC de aumento frente al período 1956-1967. Con respecto al comportamiento anual de la temperatura media, enero es el mes más caluroso con valores de 21,9ºC y julio el más frío con valores de 10ºC (Figura 63). Otoño y primavera presentan valores similares, aunque algo superiores los del primero, apreciándose una adecuada diferenciación de las estaciones del año [85].

Tabla 156. Temperaturas medias, máximas y mínimas medias ($T_{med/máx/mín}$, en ºC), amplitudes térmicas (A, ºC) y precipitaciones (P, en mm) estacionales y anuales entre 1997-2006. La tendencia muestra el aumento (en ºC) de la temperatura media estacional con respecto al período 1956-1967 para el partido de Necochea [85].

Estación	**T_{med}**	**$T_{máx}$**	**$T_{mín}$**	**A**	**Tendencia T_{med} 1956-1967 vs 1997-2006**	**PP**
Verano	20,9	25,4	16,7	8,7	+1,5	258,3
Otoño	15,8	19,2	12,8	6,4	+0,8	253,4
Invierno	10,0	12,9	7,5	5,4	+1,1	201,5
Primavera	14,3	18,2	10,8	7,4	+1,3	199,1
Anual	15,1	18,9	12,0	7,0	+1,0	906,3

La precipitación media en Necochea es 906,3 mm. El análisis histórico de las precipitaciones, presentado en la Tabla 157, indica una variabilidad entre décadas. Se han observado ciclos de 5-6 años de duración en el monto de precipitaciones anuales (Figura 64) en los cuales las mismas aumentan hasta alrededor de los 1000 mm y disminuyen hasta los 700 mm anuales. El máximo valor medio anual se registró en 1966 con 1334 mm y el mínimo en 1977 con 655 mm [85].

En cuanto a la variación interanual (Tabla 156 y Figura 63), las mayores precipitaciones se registran en verano, en los meses de enero y febrero y a comienzos del otoño. La estación más seca es el invierno y los meses con menores valores son julio y agosto. Durante la primavera y el otoño las precipitaciones varían entre 200 y 250 mm si bien en primavera son algo inferiores [85].

Tabla 157. Precipitaciones medias de Necochea en los períodos analizados [85].

Período	**Precipitación (mm)**
1950-1959	872,7
1960-1969	997,7
1970-1979	858,7
1980-1989	911,5
1990-1999	892,3
1950-1999	906,3

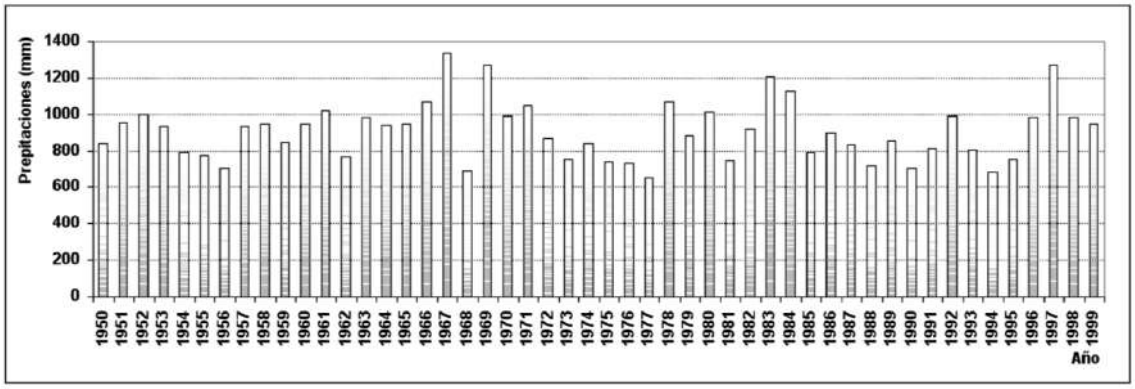


Figura 64. Precipitaciones medias anuales para Necochea-Quequén (1950-1999) [85].

La Figura 65 presenta los mapas de las isotermas e isohietas de la región. La distribución de las isotermas es aproximadamente latitudinal, con una tendencia al descenso de temperatura hacia el centro de la provincia debido a la influencia de la altura del relieve dada por el Sistema de Tandilia. En cuanto a la distribución de las precipitaciones, el área de estudio presenta la distribución general del sector oriental del país, en la cual las mismas disminuyen de E a O y de N a S debido a la disminución del dominio del centro de alta presión del Atlántico Sur en dicho sentido [85].

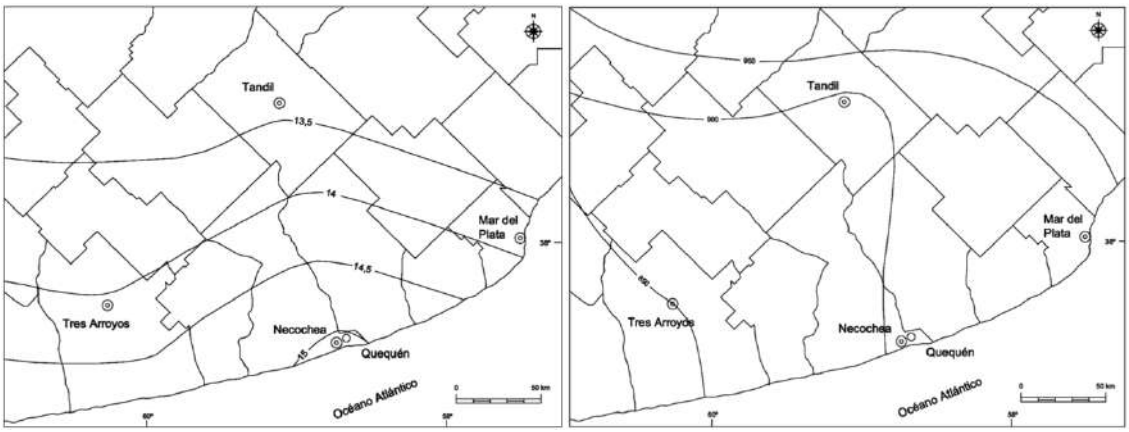


Figura 65. Izquierda: Isotermas de la región de estudio. Derecha: Isohietas de la región de estudio [85].

Estas condiciones son propicias para las actividades y el rendimiento agropecuario, así como también para las actividades turístico-recreativas. Sobre estas últimas Necochea-Quequén integra la región "bioclimática" de los Balnearios Costa Atlántica Sur (Hoffman y Medina 1971), caracterizado por el Servicio Meteorológico Nacional con las características estacionales que se presentan en la Tabla 158.

Tabla 158. Características típicas de las estaciones del año en la ciudad de Necochea Fuente: Ferraro et al. (2007) a partir de Estadísticas Necochea 1971-1978 (SMN, 2007).

ESTACIONES	CARACTERÍSTICAS
VERANO	Tiempo agradable durante el día; noches frescas a frías.
OTOÑO	Tiempo agradable al mediodía y en las primeras horas de la tarde; fresco durante el resto del día, noches frías.
INVIERNO	Tiempo frío moderado durante el día, noches muy frías.
PRIMAVERA	Tiempo agradable a mediodía y en las primeras horas de la tarde; fresco durante el resto del día, noches frías

En la Figura 66 se presenta la variación anual de la humedad relativa (%) y de la presión atmosférica (hPa) en el área de estudio. Para ambas variables, los valores más elevados se registran en invierno y los más bajos en verano.

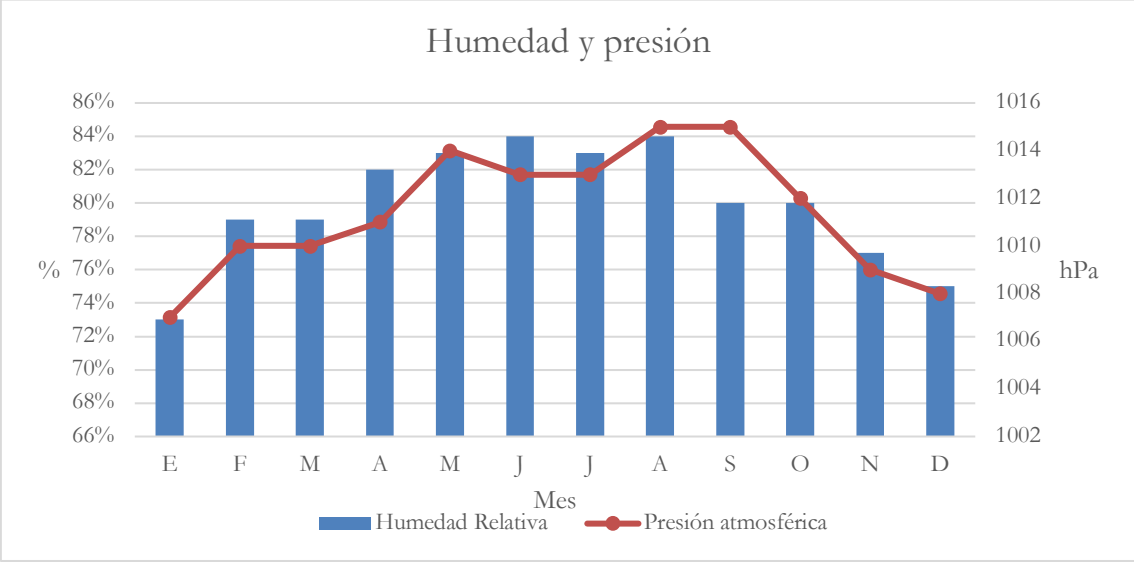


Figura 66. Distribución anual de la humedad relativa y de la presión atmosférica media para Necochea-Quequén (1997-2006). Elaboración propia a partir de [85].

La velocidad media del viento para el área de estudio es 15,7km/h y fue 13,6km/h en 1956-1967 y 17,8 km/h para el lapso 1997-2006. En cuanto a la dirección, predominan ampliamente los vientos del sector N con frecuencias del 27,7%, seguidos de los vientos del NO. Del análisis de la rosa de los vientos (Figura 67), se desprende, a su vez, que los vientos con mayores velocidades medias corresponden a los cuadrantes SW y S.

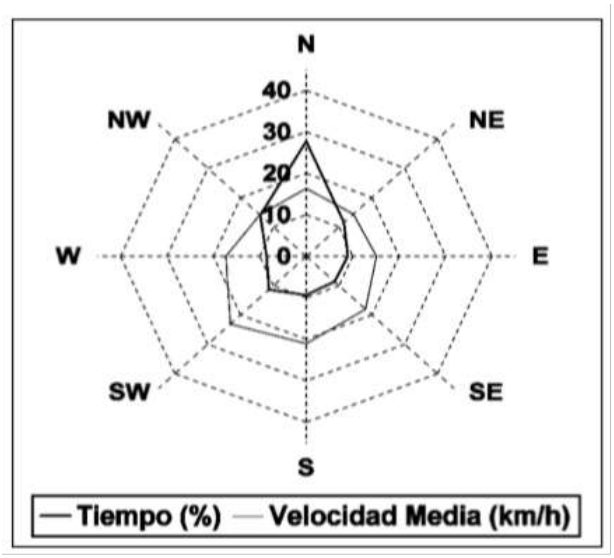


Figura 67. Rosa de los vientos decenal para Necochea (1997-2006) [85].

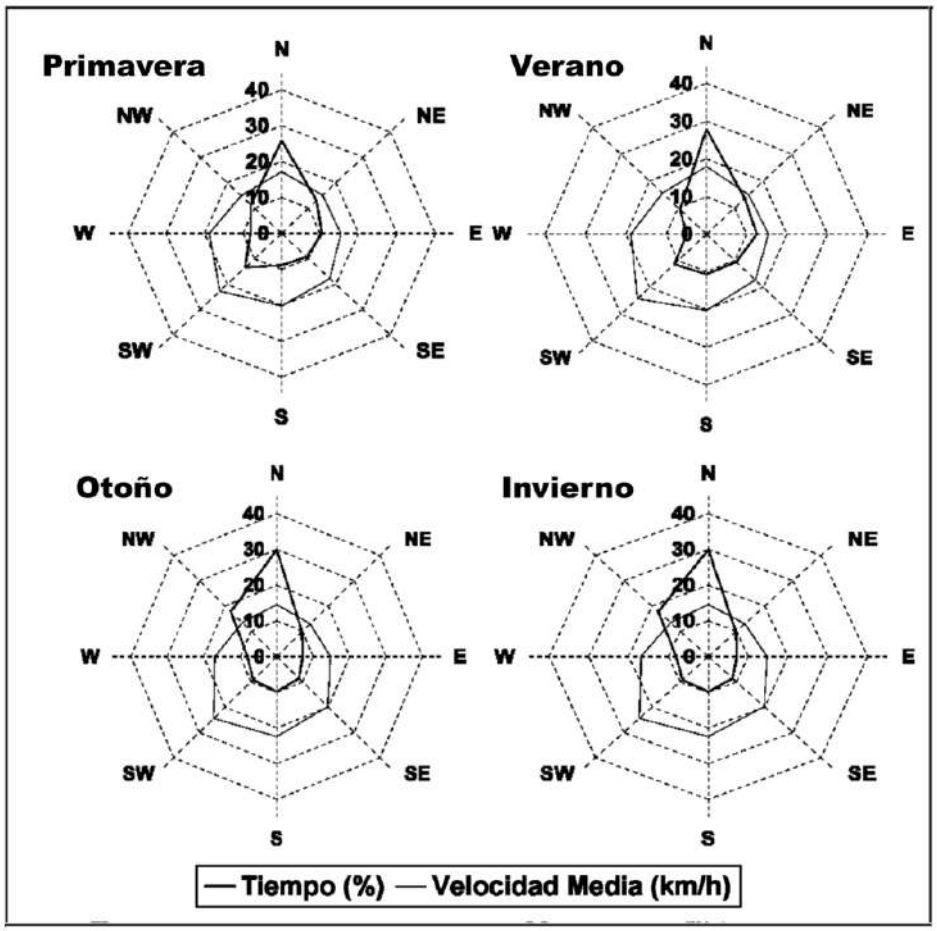


Figura 68. Rosas de los vientos decenales por estación para Necochea (1997-2006) [85].

El potencial eólico de la zona resulta adecuado para aprovechamientos energéticos. En febrero de 2020, se inauguró el parque eólico Vientos de Necochea, un predio de 158 hectáreas ubicado en la zona de Punta Negra. El proyecto fue adjudicado a la empresa Genneia bajo el programa RenovAr 1.5. Cuenta con once aerogeneradores de tecnología Vestas y una capacidad instalada de 38 MW, equivalente al consumo de 53 mil hogares [112]. El proyecto es el segundo de la región, siendo el primero el parque "EOS Necochea", inaugurado en 2010 con un aerogenerador de 0,25MW de potencia [113].

8.6.1.2. Geología y Suelos

El partido de Necochea se inscribe dentro del sistema fisiográfico de la Pampa Interserrana, junto a los partidos con litoral marítimo comprendidos entre Tres Arroyos y General Pueyrredón.

Los recursos edáficos del partido según los estudios realizados por el INTA se encuadran dentro de los regosoles y brunizem. Los primeros son formados por sedimentos arenosos calcaríferos, de origen marino, movilizados por la actividad eólica y configurando playas de gran extensión y amplitud. Los segundos son suelos de pradera desarrollados sobre limos arenosos pampeanos (loess). Los sedimentos eólico-loéssicos no superan los 2 m de profundidad en promedio, y están depositados sobre tosca calcárea. Los sedimentos, de alta fertilidad natural, presentan buena profundidad humífera, condición que, vinculada al clima benigno y un régimen de lluvias propicio, determinan un altísimo rendimiento agrícola [114].

Teniendo en cuenta la aptitud de los suelos del partido de Necochea, cuya superficie alcanza unas 445.000 hectáreas, el INTA ha diferenciado su potencial para las actividades presentadas en la Tabla 159 [114]

Tabla 159. Aptitud del suelo del Partido de Necochea [114].

Aptitud de suelo	Superficie (ha)	Porcentaje de superficie
Agrícola-ganadera	186.500	41,9%
Agrícola	173.500	39,0%
Ganadera-agrícola	45.000	10,2%
Ganadera	23.500	5,2%
Franja de médanos	16.000	3,7%

Uno de los perfiles geológicos más completos de esta región costera se encuentra sobre la margen izquierda del río Quequén. Este perfil comienza con sedimentitas continentales atribuidas genéricamente al Pleistoceno superior, conocido como "Pampeano". Está compuesto por limos y limos-arenosos, con presencia de *Paleocauces diamictíticos* y potentes niveles de toscas sobre los que encuentran depósitos de conchilla correspondientes seguramente a playas de edad Holocena y depósitos estuáricos portadores de *Tagelus plebeius* en posición de vida. La edad de esta secuencia abarca de los 7.640 ± 90 a los 5.340 años antes de la presente tomada sobre dataciones en C^{14}. Sobre estos estratos Pleistocenos se presentan depósitos de playa y estuáricos Holocenos y acumulaciones eólicas y de playa actuales [115].

8.6.1.3. Relieve

La zona de estudio está localizada dentro de la zona litoral del dominio fisiográfico "Pampa Interserrana". Esta región tiene una superficie de 4.000 km^2, escaso gradiente y se encuentra entre los dos cordones serranos de la provincia de Buenos Aires (Sierras Australes y Sierras Septentrionales). [115]

En términos generales, el paisaje de la región se resuelve con llanuras suavemente onduladas formadas por sedimentos eólicos loésicos depositados sobre sustratos arcillosos. Estas colinas extendidas presentan drenaje hacia el océano Atlántico. Las curvas de nivel del Partido se presentan en la Figura 69.

El litoral marítimo está formado por playas de acumulación de conformación dunosa, alternando con tramos erosivos de acantilados y afloraciones de tosca. [114]

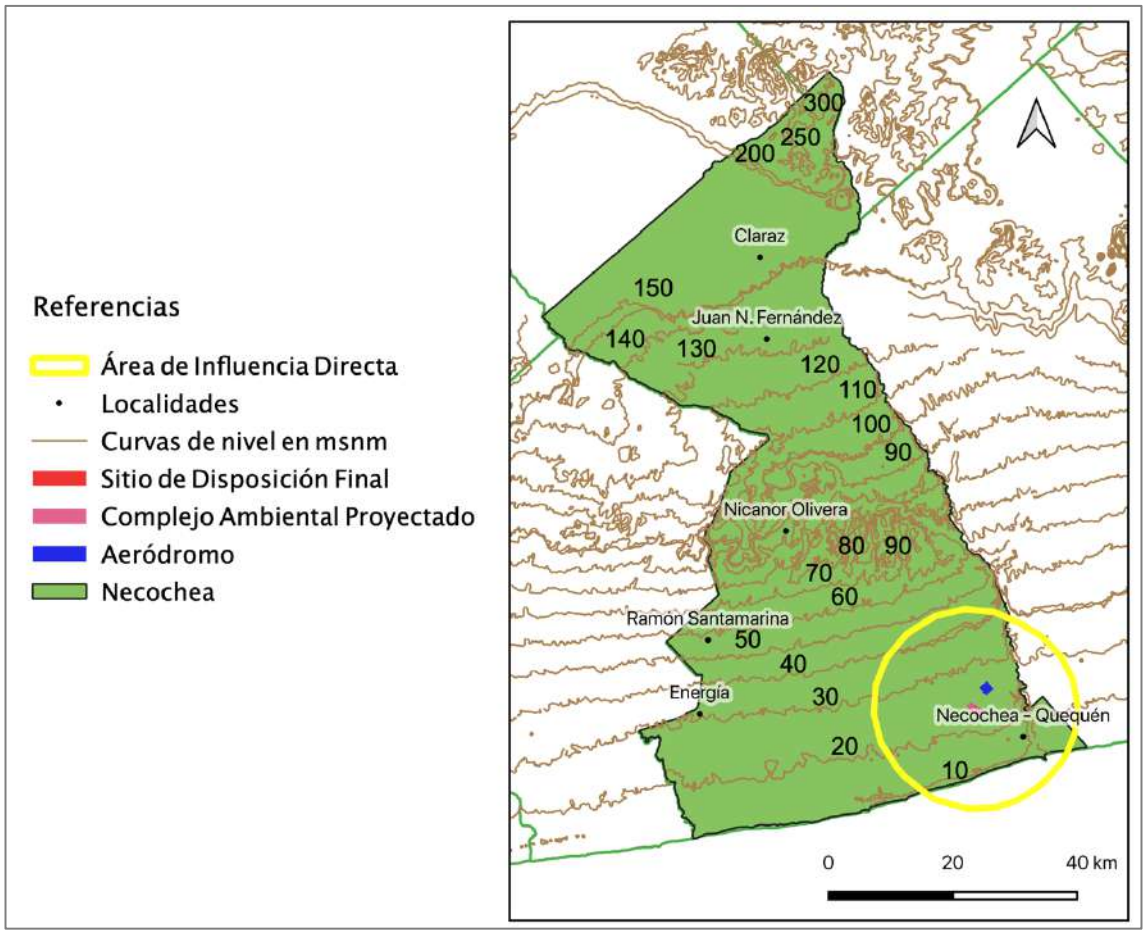


Figura 69. Curvas de nivel equidistantes a 10 msnm de Necochea y alrededores. Elaboración propia en QGIS 3.10.4 a partir de curvas WFS del INTA, disponibles en IDERA, 2020.

8.6.1.4. Hidrología e Hidrogeología

En cuanto a los recursos hídricos de la región, la acción del clima templado oceánico se refleja en la hidrografía que presenta un modelo dendrítico conformado por arroyos y ríos de curso subparalelo en su tramo final con clara orientación norte-sur. En general dominan lomadas extendidas con buen drenaje hacia el mar, mientras que las áreas con estancamiento tienen reducida extensión. [114]

De los cursos que llegan al mar, el más caudaloso es el río Quequén Grande, cuya desembocadura tiene una profundidad que permite el arribo de embarcaciones de gran calado. Presenta una longitud de 170 km y su cuenca abarca unos 9944km^2. El río nace en el Sistema de Tandilia, el cual define una red hidrográfica de alcance regional. En general, el ancho del río Quequén es poco variable, de 150 a 200 m aproximadamente, llegando a unos 400 m en la zona portuaria; el caudal medio alcanza unos 30 m^3/s [114]. Sus tributarios son el Quequén Chico y el Pescado Castigado con caudal intermitente. En la margen izquierda se destacan el Arroyo Lobería y Arroyo Seco. En su curso inferior se emplaza el Puerto Quequén con muelle cerealero para buques de ultramar y los elevadores de granos. En la margen derecha, del lado de Necochea, el muelle de cabotaje y pescadores [114]. La Cuenca del río Quequén Grande es una cuenca de gran importancia agroproductiva [18].

Asimismo, en la Cuenca, una secuencia sedimentaria del Cuaternario-Terciario Superior constituye un acuífero libre, el pampeano, principal acuífero de la zona y único explotado para todo tipo de usos [18]. La morfología de la superficie freática muestra zonas de predominio de recarga en los interfluvios producto de los excesos del balance hídrico. La descarga natural se produce localmente a través del sistema de drenaje superficial y regionalmente al océano. En períodos lluviosos los niveles freáticos pueden llegar a aflorar en los sectores bajos provocando anegamientos prolongados en estas zonas [7].

Las aguas subterráneas revisten un importante papel en la satisfacción de las necesidades por parte de la población humana con fuente de abastecimiento urbano, rural e industrial. En general son naturalmente buenas en términos cuanti-cualitativas salvo en algunos sectores con presencia de nitratos y contenido de cloruro vinculado a la utilización antrópica del recurso, por el uso de agroquímicos en forma intensiva en el primer caso o la sobreexplotación en épocas de mayor demanda lo segundo. [114]

La Figura 70 muestra las curvas correspondientes a las profundidades de la napa freática en el Partido, según lo relevado por Salas y Cavalie en 1993. En la misma figura se ha superpuesto el mapa de salinidad. La profundidad de la napa disminuye en sentido sur, conforme a su proximidad con el mar. La región presenta mayoritariamente niveles de salinidad inferiores a 1000 ppm. Hacia la costa hay áreas donde la salinidad aumenta a valores entre 1000 y 2000 ppm o bien supera este valor.

En lo particular del AID, la napa se encuentra a 40 m en el sector norte, a 20 en la zona del emplazamiento del CAP y disminuye a 0 en la costa. En cuanto a la salinidad, hay tres zonas: hacia el norte, la salinidad es inferior a 1000 ppm; en la zona central del AID, donde se ubica el CAP, incluyendo el conglomerado urbano, la salinidad toma niveles entre 1000 y 2000 ppm. En la zona costera, se reduce nuevamente (Figura 70).

Los otros cursos de agua permanente el Partido son el Arroyo Zabala, que desemboca en el mar al oeste del Partido, y el Arroyo Mendoza, que desemboca en la Laguna de Carrizal. Los cursos de agua y las lagunas del Partido y región se presentan en la Figura 70.

En época de lluvias muy intensas, el río Quequén Grande sufre crecidas extraordinarias que aumentan significativamente su caudal; cuando esta situación coincide con pleamares puede producir inundaciones. El efecto de la marea tiene influencia sobre el nivel del río hasta 3 km aguas arriba de la desembocadura. En este sentido, las inundaciones están asociadas fundamentalmente a dos fenómenos diferentes: por un lado, el desborde de los ríos locales debido a precipitaciones intensas; y, por otro lado, al efecto de los vientos constantes y prolongados del sector Este o Sudeste (Sudestadas) que impiden el normal drenaje de los ríos hacia su desembocadura. [109]

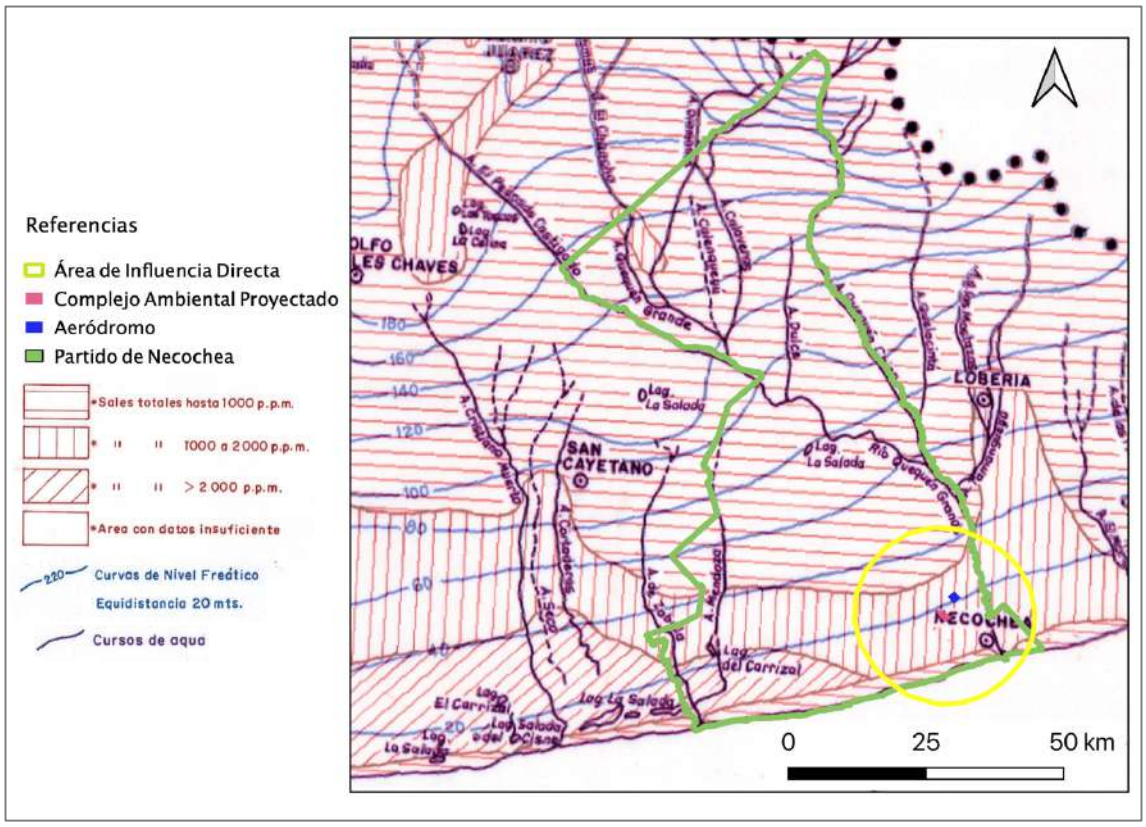


Figura 70. Cursos de agua superficiales, curvas isofreáticas (azul) con equidistancia de 20m de profundidad, y concentración de sales totales (rojo) en el Partido de Necochea. Elaboración propia en QGIS 3.10.4 a partir de [116].

8.6.1.5. Flora y Fauna

La vegetación originaria es la pseudoestepa de gramíneas con dominancia de los géneros *Stipa* y *Piptochaetium*, la cual ha sido sustituida en la mayor parte de la Cuenca por agroecosistemas. La intensa actividad agrícola se relaciona directamente con los suelos de buena aptitud y con la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la región. [18]

Entre las especies vegetales presentes se destacan la flechilla, paja brava, macachín, manzanilla, gramilla dulce y blanca, trébol, cardo y duraznillo blanco y negro. Abundan diversos árboles como pinos, álamos y eucaliptos. [117]

Se puede encontrar entre los mamíferos peludos, liebres, vizcachas, roedores, mulitas, zorros, zorrinos y comadrejas, que responden a las exigencias lógicas de la agricultura y la ganadería y al clima de la zona. Se encuentran aves como la perdiz, lechuza, golondrina, gaviota, hornero, gorrión, entre otras. En ríos, arroyos y lagunas abundan pejerrey, bagre, dentudo; en el mar, se pueden ver a la corvina, pescadilla, tiburón, brótola, cazón, raya, congrio, pez palo y anchoa. [117]

8.6.1.6. Análisis de Riesgos por Fenómenos Naturales

Por lo antes expuesto, en la región predominan las masas de aire provenientes del anticiclón del Atlántico Sur. Las Sudestadas en el sector costero pueden producir precipitaciones que han alcanzado en ocasiones los 150mm en 36 horas, aunque las lluvias pueden extenderse por varios días [85]. En distintos años, y muy recientemente, esta región se ha visto sacudida por temporales violentos con vientos huracanados y lluvias intensas los que ocasionen un alto impacto social y económico. Los daños de diferentes instalaciones edilicias y portuarias produjeron situaciones emergentes como: evacuaciones, anegamientos en viviendas, varaduras de cargueros, etc. [114].

No hay actividad sísmica registrada en la región, por lo que no será necesario implementar refuerzos constructivos antisísmicos en la obra.

8.6.1.6.1. Análisis de las implicancias para la GIRSU

En la construcción del complejo ambiental, se deberán tomar en cuenta tanto la proximidad a la napa freática como la posibilidad de anegamientos locales en épocas de lluvias y temporales (Sudestadas). Se deberán llevar a cabo estudios topográficos del predio, de manera de implementar las barreras e impermeabilizaciones necesarias.

Las excavaciones deberán contemplar el perfil del terrero, siendo este compuesto de 2 metros de sedimentos blandos, seguidos de tosca, la cual podrá ser removida y luego comercializada. Por otro lado, el suelo de la primera franja de excavación podrá ser utilizado como cubrimiento en el relleno.

8.6.1. Medio Socio Económico

8.6.1.1. Caracterización Poblacional

8.6.1.1.1. Población actual

En el 2010, el partido de Necochea registró un total de 92.933 habitantes, de los cuales 44.420 eran hombres y 48.513 mujeres. La mayoría femenina coincide con la tendencia observada en el resto de la provincia y del país. A su vez, el 91,2% de la población del Partido reside en el núcleo urbano conformado por la ciudad de Necochea y la ciudad de Quequén. En la Tabla 160 y en la Figura 71 se presenta la evolución de la población por localidad según los últimos tres censos nacionales [20].

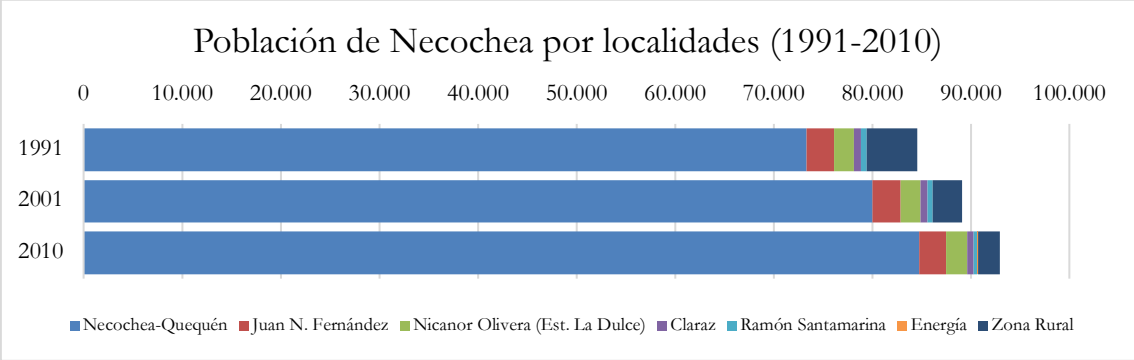


Figura 71. Evolución de la población de Necochea, por localidad (1991-2010) [20].

Tabla 160. Población (Pobl, en habitantes) por localidad y porcentaje sobre el total del Partido de Necochea (1991-2010) [20].

Localidad	Año - Censo					
	1991		2001		2010	
	Pobl	%T	Pobl	%T	Pobl	%T
Necochea-Quequén	73.331	86,7%	80.029	89,8%	84.784	91,2%
Juan N. Fernández	2.771	3,3%	2.886	3,2%	2.721	2,9%
Nicanor Olivera (Est. La Dulce)	2.013	2,4%	1.978	2,2%	2.131	2,3%
Claraz	720	0,9%	733	0,8%	639	0,7%
Ramón Santamarina	606	0,7%	473	0,5%	430	0,5%
Energía	-	-	-	-	63	0,1%
Zona Rural	5.140	6,1%	2.997	3,4%	2.165	2,3%
Total	84.581	100%	89.096	100%	92.933	100%

8.6.2. Dinámica poblacional

La población del Partido ha incrementado significativamente en las últimas décadas, con una tasa de crecimiento decreciente (Tabla 161). Entre 1970 y 1980, la población aumentó un 44%, mientras que, en la década siguiente, la tasa de crecimiento se redujo a un 15%. En último período intercensal registrado, 2001-2010, el partido tuvo un crecimiento poblacional del 4,3%. Sin embargo, para el mismo período, el crecimiento del conglomerado Necochea-Quequén, fue 5,9%. En cuanto a la variación de la población rural, esta enfrenta una marcada disminución debido a la emigración hacia las urbes. La misma se redujo en 62,3% en las últimas dos décadas relevadas (Tabla 160).

Tabla 161. Crecimiento de la población del Partido y del conglomerado Necochea-Quequén (1970-2010) [21] [20]. (TCIC: Tasa de crecimiento intercensal; TCIA: Tasa de crecimiento interanual)

Indicador	**Año – Censo**				
	1970	1980	1991	2001	2010
Población Partido	51.145	73.634	84.581	89.096	92.933
TCIC Partido	-	44,0%	14,9%	5,3%	4,3%
TCIA Partido	-	4,4%	1,4%	0,5%	0,5%
TCIC Necochea-Quequén	-	-	-	9,1%	5,9%
TCIA Necochea-Quequén	-	-	-	0,9%	0,7%

En lo referido a la tendiente disminución de la población de las localidades del interior, es importante remarcar lo siguiente: dichas localidades se fundaron en el siglo XIX, en el auge del modelo agroexportador y su asociada ampliación de la red ferroviaria. Las misma se vieron fuertemente afectadas por los cambios tecnológicos del siglo siguiente, como ser el desarrollo de la red vial, el desmantelamiento de los servicios y ramales ferroviarios. En la actualidad, se encuentran estancadas en su evolución poblacional o directamente son expulsivas de población, afectando de esta manera la sustentabilidad de su desarrollo [19].

De la población total de 2010, el 98% nacieron en Argentina mientras que el 2% en países extranjeros principalmente en países limítrofes, resto de América y de Europa. Los primeros movimientos migratorios se dieron a principios de siglo siendo las comunidades italianas, danesas, vascas, y españolas, las más importantes en esta zona. Este proceso tuvo dos grandes oleadas la primera después de 1890 hasta 1914 y la segunda como fecha clave 1945, que contribuyeron al doblamiento de áreas rurales y al desarrollo agropecuario [21].

Las migraciones más recientes corresponden a chilenos, paraguayos, uruguayos; quienes emigraron desde su país ante situaciones de crisis económicas y sociales; asentándose en los barrios periféricos en distintos puntos de la ciudad. Entre los años 2003 y 2006 se observa una importante migración de dominicanos, sumidos en una profunda crisis económica en su país. De acuerdo al SMIT el 0.80% de la población tiene algún familiar que ha emigrado en los últimos años (el mayor porcentaje se radicó en España) [21].

Del total de la población en edad de desempeñarse laboralmente, según datos del SMIT (Centro Integral de Recursos), hay un 52,73% de población activa y un 47,27% inactiva [109].

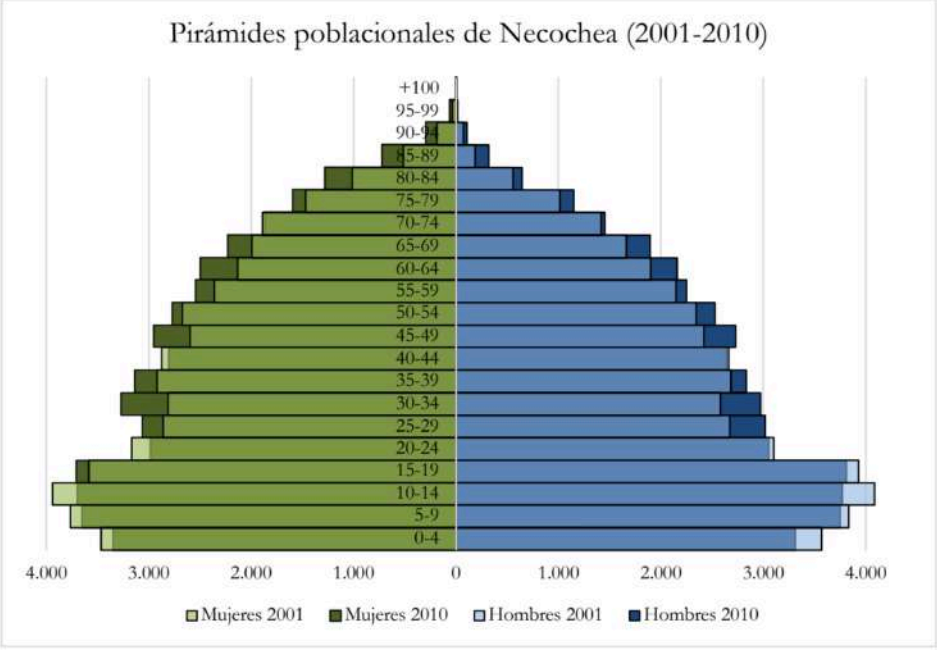


Figura 72. Variación de la estructura poblacional de Necochea (2001-2010). Elaboración propia a partir de [24] y [25].

Las variaciones en la estructura poblacional no necesariamente respetan la tasa de crecimiento experimentada para toda la población. En la se pueden observar los cambios experimentados en la población, por sexo y grupo etario. Los valores pertenecientes al 2010 evidencian una composición por sexo y edad más elevada, con una base más angosta que la de 2001 y una cúspide engrosada, a causa del descenso de la mortalidad y una mayor sobrevivencia femenina.

En la estructura media de la pirámide se destaca una fuerte emigración producida como consecuencia de la falta de estudios superiores dentro del distrito así como otros factores que incidieron en esa fracción de la población, como lo es, la falta de estabilidad económica y la atracción que ejerció el trabajo en otras ciudades y países [21].

En los segmentos que van desde los años 40 a la cúspide se observa una evolución normal y que se correlaciona con su base. Es deducible que estos segmentos no fueron afectados por las mismas causas que el análisis anterior y que responden más bien a una etapa histórica en donde la ciudad actuó como captadora de inmigración [21].

8.6.3. Población turística y dinámica estacional

La ciudad de Necochea cuenta aproximadamente con 110.000 plazas de alojamiento en establecimientos hoteleros y extrahoteleros. Los alojamientos extra-hoteleros comprenden campings, casas y departamentos para alquilar, los cuales representan el 80% del total de plazas. Trece complejos balnearios disponen de 3000 unidades de sombra y existe una centena de establecimientos gastronómicos [21].

La estacionalidad del turismo interno en el partido es muy marcada y se concentra en un 70 % entre los meses de diciembre y marzo. El 30% restante se centra en los fines de semana largos del año y el receso escolar de invierno. La ocupación de las plazas es variable a lo largo de la temporada, pero no hay información estadística al respecto [21] [22]. En 2001, la población estable de unos 80.000 habitantes se aproximaba a unos 120.000 en temporada de verano por el arribo de los turistas, que en total giraba en los 500.000 visitantes [21]. Según la entrevista realizada al ex Secretario de Planeamiento y Medio Ambiente de Necochea, Martín Sarasíbar, actualmente, la población a atender en el pico de la temporada estival es de 180.000 habitantes. El pico normalmente ocurre en la tercera semana del mes de enero. Sin embargo, los cambios en los hábitos turísticos del país han trasladado los picos de ocupación a los fines de semana largo, en especial el de carnaval en febrero [7].

La ciudad es elegida mayormente por el grupo etario que oscila entre los 25 y los 40 años, siendo el grupo familiar -con hijos- el 75% del mercado total. La estadía promedio durante la temporada oscila entre 3 y 10 días. [22] La estructura de la población turística coincide con los sectores activos más numerosos de la población local. Esto induce a tomar la suposición de que sus hábitos de consumo serán semejantes, pudiéndose asignar las tasas y características de generación de RSU del grupo local, al grupo turista.

8.6.4. Vías de comunicación

El Distrito de Necochea posee una importante conexión con la red carretera nacional. De este a oeste las rutas de acceso son las presentadas en la Tabla 162.

En lo que respecta al sitio de disposición final (SDF) actual, su único acceso es mediante el Camino Viejo a la Dulce (Figura 73). El mismo es de tierra con tosca de uso rural bajo. Su escaso tránsito permite que el impacto visual y social del transporte de los RSU se reduzca significativamente. Con la ampliación del sitio a la extensión del CAP, se podría implementar una vía de acceso complementaria al predio por medio de la Ruta Nacional 228.

Tabla 162. Accesos terrestres al partido de Necochea [21] [118]

Rutas	**Ciudad Destino – Provincia**	**Km**	**Estado**
RP 88	Mar del Plata – Buenos Aires	127	Bueno
RN 227	Ciudad de Buenos Aires	530	Bueno
RP 55	Balcarce – Buenos Aires	98	Malo
RN 227	Laboulaye – Córdoba	824	Bueno
	Rufino – Santa Fe	750	Bueno
RN 226	Bolívar – Buenos Aires	405	Bueno
	Olavarría – Buenos Aires	310	Bueno
	Tandil – Buenos Aires	168	Regular
RP 86	Daireaux – Buenos Aires	387	Bueno
	Benito Juárez – Buenos Aires	138	Bueno
RN 3 y 228	Bahía Blanca – Buenos Aires	345	Bueno
RN 33	Tres Arroyos – Buenos Aires	145	Bueno
RN 22	Neuquén – Neuquén	882	Bueno
RN 3	Villa Regina – Río Negro	795	Bueno
Camino Viejo a La Dulce	La Dulce – Buenos Aires	50	Regular -Actual camino al SDF

Figura 73. Rutas de acceso terrestres a la ciudad Necochea-Quequén y su ordenamiento territorial. Modificado de [9].

En cuanto a vías de transporte ferroviario, la ciudad de Necochea no cuenta con la prestación del servicio de trenes de pasajeros desde el año 2003, lo que representa una fuerte debilidad en lo referente al transporte de aproximación. Sí existe un servicio de trenes de carga con destino al puerto Quequén.

Dicho puerto le confiere al distrito una ventaja económica importante ya que su ubicación es una fortaleza para el tráfico marítimo de cereales y otros productos agropecuarios. Está localizado sobre un área no sedimentable, en el extremo sureste del distrito, sobre la costa de la provincia de Buenos Aires.

Por último, el transporte aéreo del partido se debe al Aeropuerto de Necochea, un aeródromo provincial que se encuentra ubicado en la ruta 86 Km. 12,500. El mismo se encuentra a 3000 m de distancia mínima del actual SDF de los RSU. Desde el año 2004 hasta la fecha solo presta servicios de transporte aéreo no regular para pasajeros.

8.6.5. Usos del suelo actuales

En la Figura 5 se presentan los límites entre los usos de suelo urbano-periurbano y periurbano-rural del área de influencia directa del proyecto. De los 700 km^2 de superficie que abarca el AID, 560 km^2 son de carácter rural, es decir un 84% del total. El sitio de emplazamiento de la obra se encuentra dentro de esta zonificación, conforme a lo establecido en la normativa vigente. La distancia al aeropuerto es crítica, siendo la mínima de 3000m, hecho que la sitúa en el límite de lo considerado permisible. La ampliación del predio del proyecto deberá contemplar dicha cercanía y tomar los recaudos necesarios para minimizar los impactos posibles.

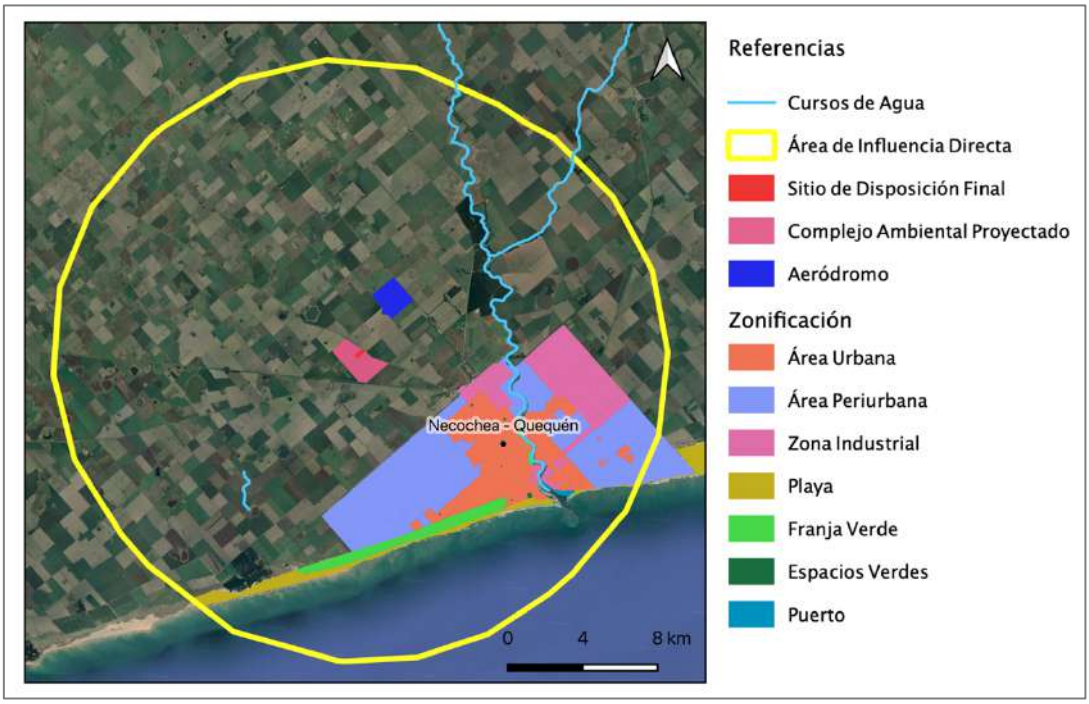


Figura 74. Zonificación del Área de Influencia Directa. Elaboración propia en QGIS 3.10.4 a partir de WFS de IDERA, 2020.

En la Figura 74 se presentan las zonificaciones del partido agrupadas por áreas urbanas, periurbanas, industriales, la zona del puerto, la playa y la franja y espacios verdes dentro del AID. El área rural se visualiza por medio de la imagen satelital por medio de la cual se observan los campos loteados. La franja verde costera corresponde al Parque Miguel Lillo, el espacio verde recreativo más significante (484 ha) a escala urbana. El parque fue creado en 1947 para frenar el avance de los médanos y actuar como barrera de los fuertes vientos del sur que volaban la arena de las playas hacia la ciudad.

8.6.6. Zonas de reserva

No existen áreas protegidas en el entorno inmediato al área de influencia del proyecto. El área protegida más próxima al proyecto es La Reserva Natural Arroyo Zabala, que se ubica a aproximadamente 42 km al SO del CAP y se extiende por tierras fronterizas entre los distritos de Necochea y San Cayetano. Protege un ambiente de dunas extendido en la desembocadura del arroyo Zabala, hábitat de especies endémicas. Comprende además de la zona medanosa, las playas, el área intermareal y las aguas marítimas hasta 2 km costa afuera. Fue creada por la Provincia de Buenos Aires en 2001 (Ley 12.743) y cubre un total de 2.000 ha. Esta Reserva Natural es la única área protegida que representa los sistemas de dunas costeras del Sur de la Provincia Buenos Aires [109].

Un Área Valiosa de Pastizal (AVP) puede definirse como una superficie considerable de pastizales naturales en buen estado de conservación, con una biodiversidad relevante. Las Dunas del Sudeste Bonaerense son el AVP más cercana al área de estudio. Comprenden la franja de dunas costeras entre Necochea y Pehuén-Co cuyo ancho varía entre los 2 y 7 km, aproximadamente. Su extremo NE se encuentra a 3km de Puerto Quequén, donde finaliza el

Parque Miguel Lillo. Su superficie estimada es de 8.000 ha, la cual incluye playas, médanos vivos, médanos fijos (con pastizales psamófilos), depresiones intermedanosas (pastizales húmedos y salinos) y algunas forestaciones, arroyos y cañadas. Esta zona conserva el ambiente de los médanos costeros que integra una diversidad biológica importante, entre la que se destacan especies endémicas, raras o amenazadas [109].

El programa de Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICA) de BirdLife International, es una iniciativa global enfocada a la identificación, la documentación y la conservación de una red de sitios críticos para las aves del mundo. El AICA Arroyo Cristiano Muerto es la más cercana al área del proyecto, ubicándose a 38 km al NO del CAP. Se caracteriza por sus relieves llanos a suavemente ondulados y está surcada en sentido norte-sur por arroyos que desaguan en el océano Atlántico, entre los cuales se destaca el Arroyo Cristiano Muerto. En algunos sectores es notable la abundancia de pequeñas lagunas. Es la zona de invernada del cauquén colorado (*Chloephaga rubidiceps*), con una población estimada en 1.178 individuos. La zona alberga también importantes poblaciones de las otras dos especies de cauquenes pampeanos: el cauquén común y el real (*Chloephaga picta y C. poliocephala*). El cauquén colorado (*C. rubidiceps*) se encuentra restringido a esta AICA en su distribución invernal, con cerca del 80% de los registros concentrados en un área de alrededor de 13.000 ha, localizada en los alrededores del Arroyo Cristiano Muerto [109].

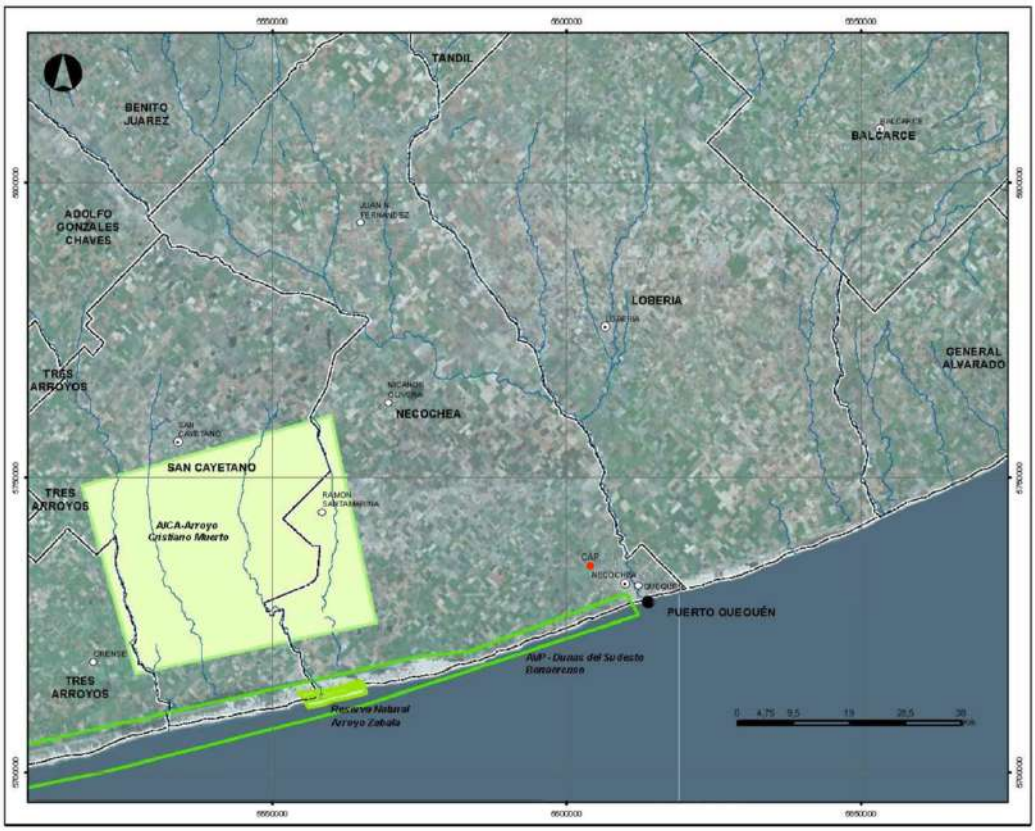


Figura 75. Áreas protegidas cercanas a proyecto. Modificado de [109].

8.6.7. Análisis de las implicancias

El predio preseleccionado para el CAP se encuentra dentro de la zonificación rural del Partido, conforme a lo establecido en la normativa vigente para SDF de RSU. Su distancia de 5km al inicio del conglomerado urbano es prudente para minimizar impactos, pero la implementación de zonas buffer no se desestima. La distancia al aeropuerto es crítica, siendo esta de 3000 m, hecho que la sitúa en el límite de lo considerado permisible. La ampliación del predio del proyecto debe contemplar dicha cercanía y tomar los recaudos necesarios para minimizar los impactos posibles.

Por otro lado, la extensión del CAP permite implementar una vía de acceso al predio, por medio de la Ruta Nacional 228. Esta vía puede complementar el acceso en casos de anegamiento u obras futuras del camino principal al predio.

La existencia cercana del puerto ofrece la posibilidad de utilizar el transporte marítimo como medio de transporte económico para el traslado y comercialización de materiales recuperados de la gestión de los RSU.

La ausencia de áreas protegidas dentro del AID resulta favorable para la viabilidad del proyecto desde su componente ambiental.

8.7. Nivel Socioeconómico

8.7.1. Indicadores socioeconómicos

Respecto de las condiciones de vida de la población se considera el indicador de las necesidades básicas insatisfechas (NBI, referidas a condiciones habitacionales, de escolaridad y capacidad de subsistencia). En 2001, el partido de Necochea registró un 8% de población en hogares con NBI. En 2010, el porcentaje se redujo a 3,4% de los hogares [25].

Para describir las condiciones habitacionales de la población, uno de los indicadores seleccionados es el de hacinamiento por hogar. Según los datos del Censo del INDEC del año 2010, la mayor cantidad de hogares alberga menos de 1,49 personas por cuarto (78%). El porcentaje de hogares en condiciones de hacinamiento crítico, es decir, con más de tres personas por cuarto, es de 2%. Por otro lado, para la calidad constructiva de los hogares en el Departamento, se han contabilizado 31.425 hogares cuyo 65% corresponde a la categoría I (materiales sólidos y resistentes), el 6% a la categoría II, el 28% a categoría III (faltante de elementos de aislación o terminación en todos los componentes) y menos del 1% a IV por poseer piso de tierra [25].

De acuerdo a los datos del Censo del año 2010, respecto del nivel de enseñanza alcanzado, la instrucción del Departamento de Necochea es similar al de la Provincia de Buenos Aires. La mayor cantidad de población se agrupa bajo la categoría "Primario Completo/Secundario Incompleto" (56% de la población de 15 años). El mayor nivel de instrucción (Terciario/Universitario Completo) presenta los menores valores (8%) [109].

En lo que se refiere a tasa de actividad, el 48,07% de la población tiene empleo, el porcentaje de desocupados es del 9,84% y de subocupación del 16%. En cuanto a la población ocupada, según la relación de dependencia en su trabajo, el mayor porcentaje corresponde a empleados u obreros 63,19%, el segundo lugar está representado por cuentapropistas (22,92%) y en tercer lugar los patrones o empleadores (12,50%) [109].

El partido de Necochea aporta el 0,7% al Producto Bruto Geográfico (PBG) de la provincia de Buenos Aires. La actividad económica que mayor aporte realiza al PBG es la agropecuaria [109].

8.7.2. Actividades económicas

El perfil productivo del partido de Necochea se ve favorecido por una buena potencialidad ambiental para el desarrollo de las actividades como la pesca, la industria, el turismo, y principalmente la actividad agrícola-ganadera. Tanto los suelos como el clima sustentan de manera propicia a estas actividades con resultados de alto rendimiento para la producción cerealera. El puerto resulta un eslabón fundamental en la salida de saldos exportables locales y de su zona de influencia [109].

Con relación al turismo, la ciudad de Necochea cuenta con productos turísticos durante todo el año, como la playa, la pesca, el golf, las actividades náuticas y el surf. Asimismo, como recursos turísticos potenciales, el distrito presenta la posibilidad de turismo rural y científico educativo [109].

En cuanto a la producción agrícola y ganadera, a causa de su ubicación geográfica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, con las potencialidades y riquezas del recurso suelo, se conforma en una zona donde es posible el manejo sustentable de esta actividad [109].

Con respecto a la actividad industrial, existe una especialización industrial ligada al perfil agropecuario del distrito (polo productor de aceites y subproductos) [109].

También en ese marco, la industria metalmecánica ha desarrollado numerosos emprendimientos. Se fabrican implementos agrícolas (carros, norias, etc.) que abastecen al sudeste bonaerense [109].

En menor proporción la industria de la alimentación se sitúa como complemento de la principal y agrega valor a los recursos pesqueros y agropecuarios [109].

8.7.3. Identificación de los grandes generadores

En la zona de estudio, se han identificado los potenciales grandes generadores de RSU, en función de las actividades principales, por lo cual se incluyeron: 1) generadores privados entre los que se incluyeron: Comercios, Hoteles y Restaurantes, Industria y Servicios Financieros (Tabla 163), 2) Establecimientos de salud (Tabla 164) 3) Establecimientos Educativos (Tabla 165).

Tabla 163. Cantidad de empresas privadas empleadoras por sector para el Departamento de Necochea (2017) [119].

Código de actividad	Actividad	Cantidad
A	Actividades agropecuarias	328
C	Manufacturas	86
D	Suministro de gas, electricidad y aire acondicionado	5
F	Construcción	88
G	Comercio	633
H	Transporte y almacenamiento	150
I	Hotelería y gastronomía	191
J	Comunicaciones	13
K	Servicios financieros y de seguros	22
L	Inmobiliarias y servicios de alquiler	46
M	Servicios profesionales, científicos y técnicos	123
N	Actividades administrativas	38
P	Enseñanza	24
Q	Salud	90
R	Ocio	56
S	Asociaciones y servicios personales	55
Z	Sin clasificar	7

Tabla 164. Establecimientos de salud pública y cantidad de camas [120]

	Total	Hospital Público	Unidad Sanitaria	Centro de Salud	Otros
Establecimientos	22	4	3	10	5
Camas	247	206	38		

Tabla 165. Matrícula y establecimientos educativos del Partido de Necochea por nivel [121].

	Total	Inicial	Primaria	Secundaria	Especial	Otras modalidades
Matrícula	22.730	4.431	8.964	6.956	623	1.756
Establecimientos	128	36	54	31	3	4

8.7.4. Provisión de servicios

En la presente sección se analiza la cobertura de servicios básicos en el área de influencia y, en particular, en el predio preseleccionado para la localización del CAP.

En la Figura 76 se presentan las redes de alta y media tensión para el área de influencia. En las proximidades del CAP, se observa la presencia de varias líneas de 13,2 kW, como también de una de 33kW. Imágenes del actual SDF confirman la presencia de electricidad en el mismo.

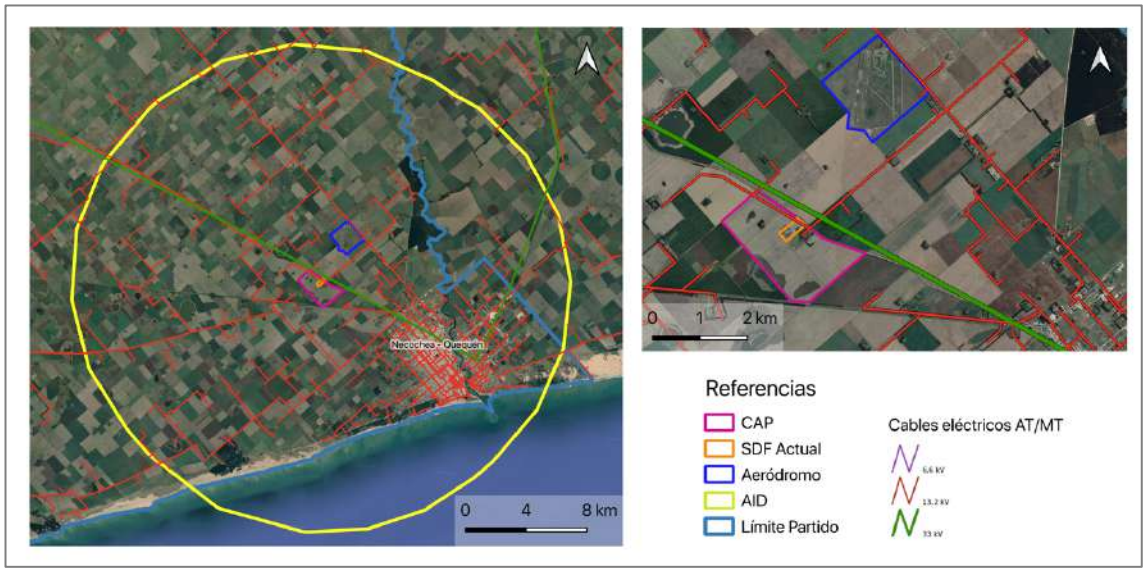


Figura 76. Red de alta y mediana tensión en el Área de Influencia. Elaboración propia en QGIS 3.4.10 a partir del Servicio WMS público de la Secretaría de Gobierno de Energía de la República Argentina.

En cuanto a los demás servicios sanitarios, el CAP no dispone de conexión a la red de ditribución de agua potable ni la red de desagüe cloacal. Se presentan los límites del suministro de ambos servicios en la Figura 77, con los porcentajes de cobertura por radio censal.

La red de agua potable inició su construcción en 1930, y partir de entonces ha sido ampliada en numerosas ocasiones. La extracción proviene de las napas subterráneas, y se realiza por medio de la extracción en 34 pozos, desde donde se eleva el agua por electrobombas. Existen 39.526 conexiones de agua corriente y se estima que un 10% adicional corresponde a conexiones clandestinas. El caudal promedio anual es de 56.682 m^3/día. En verano el consumo asciende a 70.000 m^3/día y el consumo industrial representa un 10% del total [9].

La red de desagües cloacales tuvo sus inicios en 1949 y en 1999 comenzaron las obras de las colectoras cloacales. Hay unas 33.182 conexiones domiciliarias cloacales y las clandestinas desde los desagües pluviales domiciliarios alcanzan valores considerables pero desconocidos. El sistema cloacal cuenta con 8 plantas de bombeo intermedias, para salvar los problemas de planialtimetría. El resto del conjunto funciona por gravedad, conectando a Necochea y Quequén por un ducto que pasa bajo el río Quequén Grande. En Punta Carballido, a 5 km al Este del Puerto, se produce la descarga al mar de los efluentes sin tratar [9].

Desde el año 2006, el municipio ha planificado la construcción de una planta de pretratamiento de efluente cloacales en Punta Carballido [122]. El estudio de impacto ambiental liderado por Rosana Ferraro (Universidad de Mar del Plata) se desarrolló en el año 2008 [9]. A la fecha no se ha concretado la obra. Según lo informado por el subsecretario de Planeamiento de Necochea, Ing. Guillermo Botella, la obra está aprobada técnicamente por el

Ente Nacional de Obras Hidráulicas y Saneamiento (ENOHSA) pero su financiamiento no ha sido aún aprobado [6].

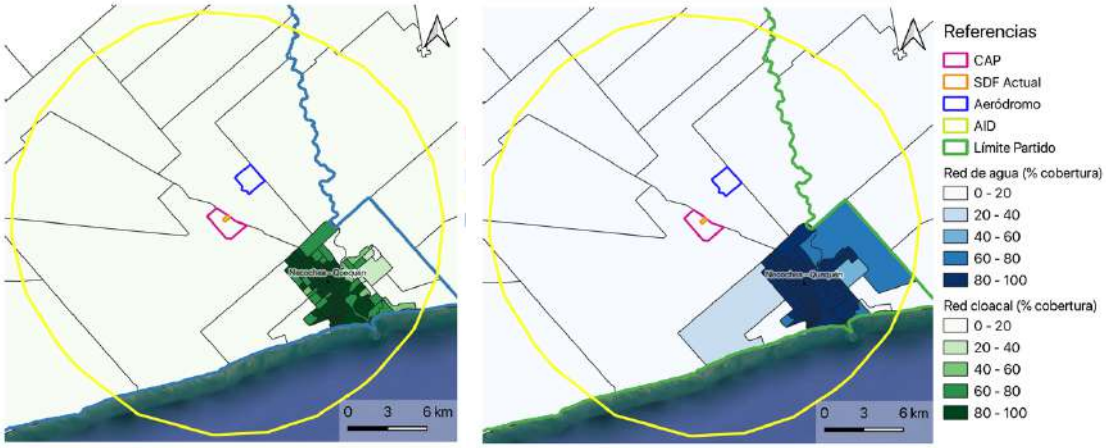


Figura 77. Cobertura de conexión a desagüe cloacal (derecha, verde) y de red de agua potable (izquierda, azul) por radio censal para el Área de Influencia. Elaboración propia en QGIS 3.4.10 a partir de según [25].

Tabla 166. Acceso de hogares a servicios públicos, por tipo de servicio para Necochea. Elaboración propia a partir de [25]

Servicio público	% Hogares
Desagüe cloacal	76,9
Agua potable	94,3
Electricidad	98,9
Recolección de RSU	94,7

8.7.5. Estimación de la población según niveles socioeconómicos

Para estimar la proporción de población y hogares según niveles socioeconómicos (NSE) del área de estudio, se utilizaron los resultados obtenidos por Zulaica, Andersen y Tomadoni (2017) para el Índice de Sostenibilidad (IS) de Necochea y Quequén, y se los extrapolaron a la totalidad del Partido. Por la naturaleza de los datos incluidos en la determinación del IS, los 5 niveles del índice fueron considerados equivalentes a los NSE.

Las autoras mencionadas determinaron el Índice de Sostenibilidad (IS) del conglomerado Necochea-Quequén, para el cual consideraron cinco grandes grupos de indicadores que integran las dimensiones ambiental y urbana. Dentro de la dimensión sostenibilidad ambiental, se utilizaron indicadores de calidad sanitaria e indicadores de interacción sociedad-naturaliza. En cuanto a la dimensión sostenibilidad urbana se seleccionaron indicadores de calidad educativa, calidad habitacional e indicadores de desarrollo económico (Tabla 167).

La metodología de estandarización empleada por las autoras fue la técnica de Puntaje Omega. Este procedimiento transforma los datos de los indicadores llevándolos a un rango de medición comprendido entre 0 y 1, valores que corresponden a los datos mínimos y máximos,

respectivamente. En este caso, el valor más alto (1) expresa la mejor situación de cada uno de los indicadores, mientras que el más bajo exhibe (0) [123].

Las unidades de referencia espacial fueron los radios censales relevados por INDEC en 2010. En la Figura 78, se presentan los resultados obtenidos del IS para cada radio censal. La Sostenibilidad Alta (IS: 0,72-0,80) se alcanza claramente en el sector costero de Quequén y en las áreas centrales de Necochea y Quequén. La Sostenibilidad Media (IS: 0,6-0,72) y Baja (IS: 0,48-0,6), se presentan en áreas localizadas en el límite urbano-rural y esta última caracteriza fundamentalmente los sectores periurbanos próximos al núcleo urbano Necochea-Quequén [123].

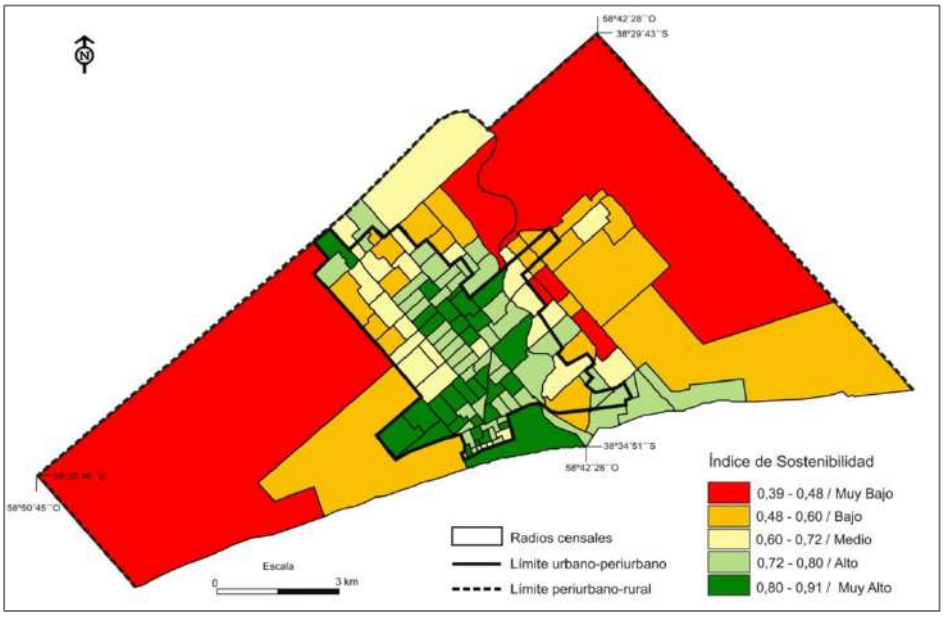


Figura 78. Distribución del Índice de Sostenibilidad (IS) [123].

Tabla 167. Dimensiones, indicadores y valores de ponderación (VP) considerados en el análisis de Índice de Sustentabilidad [123]

Dimensión	Grupo de indicadores	Indicadores	VP
Sostenibilidad ambiental	Indicadores de calidad sanitaria	Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de agua de red pública	0,05
		Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de desagüe cloacal	0,05
		Porcentaje de hogares sin provisión de agua dentro de la vivienda	0,05
		Porcentaje de hogares con instalación sanitaria con descarga de agua	0,05
	Indicadores de interacción sociedad-naturaleza	Densidad de población	0,2
Sostenibilidad urbana	Indicadores de calidad habitacional	Porcentaje de hogares con baño de uso exclusivo	0,04
		Porcentaje de hogares con disponibilidad de servicio de gas de red	0,04
		Porcentaje de hogares con hacinamiento severo (más de 3 personas por habitación)	0,04
		Porcentaje de hogares con heladera	0,04
		Porcentaje de viviendas con calidad constructiva insuficiente	0,04
	Indicadores de desarrollo económico	Índice de dependencia potencial	0,05
		Tasa de desocupación	0,05
		Porcentaje de hogares con al menos un indicador de Necesidades Básicas Insatisfechas	0,10
	Indicadores de calidad educativa	Tasa de analfabetismo	0,10
		Porcentaje de población de tres años y más que utiliza computadora en viviendas particulares	0,05
		Porcentaje de población que cursa o cursó nivel superior o universitario	0,05

Conociendo la población y los hogares de cada radio censal, se confeccionó la Tabla 168, en la que se supusieron equivalentes el nivel de IS con el de NSE. Teniendo en cuenta que la población del conglomerado Necochea-Quequén comprende más del 90% de la población del Partido, se ha mantenido la misma distribución de NSE para el total de la población (Tabla 169).

Tabla 168. Estimación del Nivel Socioeconómico de la Población de Necochea-Quequén, según Índice de Sostenibilidad de [123].

Nivel socioeconómico	Población 2010		Hogares 2010		Hab/hog
Muy bajo	3236	4%	897	3%	3,6
Bajo	16497	19%	4812	17%	3,4
Medio	18864	22%	5876	20%	3,2
Alto	28818	34%	10458	36%	2,8
Muy alto	18428	21%	7006	24%	2,6
Total Necochea-Quequén	85843	100%	29049	100%	3,1

Tabla 169. Estimación del Nivel Socioeconómico de la Población del Partido de Necochea, según Índice de Sostenibilidad [123] e INDEC, 2010.

Nivel socioeconómico	Población 2010		Hogares 2010		Hab/hog
Muy bajo / Bajo	21363	23%	6185	20%	3,5
Medio	20422	22%	6366	20%	3,2
Alto / Muy alto	51148	55%	18921	60%	2,7
Total Partido Necochea	92933	100%	31472	100%	3,0

Los resultados indican que un 55% de la población del Partido pertenecen a un nivel socioeconómico alto o muy alto, mientras que un 22% se ubica en un nivel medio y un 23% en un nivel bajo o muy bajo.

8.7.6. Análisis de las implicancias para la GIRSU

La información relevada en esta sección es necesaria para la correcta estimación de la generación de los RSU en el municipio, ya que esta etapa de la GIRSU está íntimamente vinculada con los hábitos y prácticas de consumo, las actividades económicas predominantes en el municipio y el nivel socioeconómico de la población.

De los resultados se induce que la población se encuentra estratificada con mayoría de niveles socioeconómicos elevados. En cuanto a los grandes generadores, se observa una mayoría de comercios y hoteles cuyos residuos podrían formar corrientes asimilables a los RSU.

8.8. Componentes del medio

A continuación, se listan los componentes del medio susceptibles de recibir un impacto por las acciones del proyecto.

a) Medio Físico
   1. Aire
      a) Calidad
      b) Ruido
   2. Suelo
      a) Calidad
      b) Compactación
   3. Agua
      a) Calidad superficial
      b) Calidad subterránea
b) Medio Biológico
   1. Flora
      a) Alteración de hábitat
   2. Fauna
      a) Alteración de hábitat
c) Medio Socioeconómico
   1. Nivel de empleo
   2. Actividades económicas
   3. Calidad de vida
   4. Servicios e infraestructura
   5. Paisaje

8.9. Identificación y ponderación de impactos ambientales

8.9.1. Descripción de impactos en fase de construcción

La descripción de los impactos se realiza por factores impactados, tomándose en cuenta los criterios establecidos anteriormente y las acciones que los generan. Asimismo, se describen los impactos positivos y negativos más relevantes, quedando indicados en la matriz con su respectiva intensidad.

8.9.1.1. Aire

La principal modificación presente con referencia a la calidad del aire es la generación de polvo involucrado en los procesos típicos de esta etapa, así como también se señalan ciertas acciones que impactan en este componente con respecto a la generación de ruidos.

8.9.1.1.1. Impactos negativos

Estos impactos son los producidos por las acciones de: nivelación y limpieza del terreno, movimiento de maquinaria pesada, entrada y salida de camiones e instalación y operación del obrador.

La calidad de aire se verá afectada por el manejo de material en las actividades de construcción (preparación del terreno, edificaciones, accesos, estacionamiento, redes de energía y paisajismo), donde los polvos generados son susceptibles a la dispersión en los ambientes aledaños por la acción del viento. Esto produciría en determinadas condiciones una disminución de la visibilidad en áreas cercanas a la obra y una eventual tendencia a la formación de brumas por la existencia de mayor cantidad de núcleos de condensación. Este impacto tiene características de reversible y de magnitud baja (se extenderá aproximadamente en un porcentaje inferior al 20 % de la superficie del área de influencia) [9].

A su vez, el uso de maquinarias en los mismos procesos, y el transporte de material necesario, emitirá emisiones gaseosas asociadas a las reacciones de combustión. Además, el manejo de maquinarias en las tareas provocará la generación de ruidos, aumentando el sonido de fondo de los ambientes naturales.

8.9.1.1.2.Impactos positivos

La acción de forestar y posteriormente parquizar produce beneficios ambientales directos, como son la conformación de barreras físicas, visuales, contra viento, ruidos y olores. Específicamente esto tiene un impacto positivo para todas las acciones del proyecto. Por otro lado, en forma paralela, produce un beneficio global para la captación de dióxido de carbono, la regulación el clima, el control de la radiación solar, proveen de refugio y hábitat, entre otros [9].

8.9.1.2. Suelo

8.9.1.2.1.Impactos negativos

La calidad y compactación de los suelos se verán afectados durante la etapa de construcción en las actividades que la componen, debido a que esta etapa implica cambio de uso de suelos, levantamiento, nivelación, compactación y construcción sobre los mismos para la construcción de la planta, su red eléctrica, conducciones, suministro de agua y demás unidades complementarias.

La excavación, impermeabilización y formación de taludes de la laguna de ecualización supondrá un impacto negativo elevado por la remoción de la cubierta vegetal, su desconexión de la infiltración natural y su compactación. La irreversibilidad de dicha acción resulta elevada como así también su persistencia.

8.9.1.2.2. Impactos positivos

La parquización del predio en su conjunto reviste como un impacto positivo en la medida que permitirá recuperar algunas de las propiedades del suelo y mantendrá la topografía a tras la obra.

8.9.1.3. Agua

8.9.1.3.1.Impactos negativos

Toda tarea que implique la remoción de vegetación y el movimiento de tierra tiene el potencial de generar impactos sobre la calidad del agua superficial de los cursos cercanos, como resultado de la erosión del terreno y la incorporación del material erosionado en los mismos, así como por la incorporación del material orgánico retirado [124]. Frente a la ausencia de cauces superficiales en las inmediaciones del predio, este medio difícilmente se vea afectado por las acciones durante la fase de construcción. El Río Quequén se ubica a unos 8 km del sitio de emplazamiento del predio.

Considerando que para la etapa de obra se utilizarán baños químicos que serán provistos por una empresa contratista que retirará periódicamente los efluentes cloacales para su tratamiento y desecho debidamente autorizado, se considera que estos efluentes sólo podrían generar un impacto sobre la calidad del agua superficial ante un evento contingente por fallas en el manejo de los mismos. Por todo lo antedicho la probabilidad de ocurrencia de este impacto resulta muy remota, a lo que se suma la rápida respuesta al posible evento como consecuencia de la implementación del Plan de Contingencias, por lo que se considera negativo bajo [124].

También se tiene en cuenta que durante la etapa de obra se realizará el consumo de agua en el obrador, que es de abastecimiento para el personal, se considera un leve impacto negativo tanto en agua superficial como subterránea ya que, si bien el agua será abastecida mediante bidones que se comprarán a empresas dedicadas a ello, se desconoce el sitio de extracción original del agua de dichos bidones [124].

8.9.1.4. Flora y fauna

8.9.1.4.1.Impactos negativos

Asociados al movimiento de suelos y la ocupación de los mismos, se producirá un efecto en la vegetación localizada en el área de influencia, así como en la flora lejana pero susceptible a los cambios de calidad de aire, ruidos y movimiento de suelos.

De igual modo, la fauna natural 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.

8.9.1.4.2. Impactos positivos medios

Las actividades de forestación y parquización, que se iniciarán seguramente en la etapa final de la obra representan impactos positivos sobre el medio biótico terrestre, especialmente porque generarán nuevos hábitats para especies animales, especialmente aves y reptiles y roedores. Sin embargo, es importante considerar el tipo de forestación que se realice y las especies que se implanten.

8.9.1.5. Medio socioeconómico

8.9.1.5.1.Impactos negativos

El impacto sobre las actividades turísticas de la acción de entrada y salida de camiones no es suficientemente importante para considerarla en la matriz. Esto se fundamenta en el hecho de que el predio se encuentra alejado del centro de la ciudad. Los desplazamientos durante la fase en construcción se producirían en las rutas de acceso al predio sin necesidad de ingresar a la ciudad.

Los valores paisajísticos, se verían impactados por las distintas acciones vinculadas a la construcción de la obra civil. Sin embargo, el impacto para el medio socioeconómico sería leve al tratarse de una zona rural de muy baja densidad poblacional.

8.9.1.5.2. Impactos positivos

A nivel socio económico, las tareas de la etapa de construcción conllevarán la mayor demanda de mano de obra del proyecto, aumentando la generación de empleo y promoviendo la economía local. La demanda de energía aumentará por el manejo de materiales y maquinarias, y la necesidad de mejorar las redes de infraestructura vial y servicios preexistentes para llevar a cabo la construcción. La construcción de la planta en sí significa un beneficio para la comunidad por la incorporación de infraestructura de saneamiento vital para la conservación de los recursos naturales regionales.

Se considera que las acciones de forestación en esta fase de construcción impactarán positivamente fundamentalmente a los fines estéticos de preservación del paisaje, aunque moderadamente, al tratarse de un área alejada de la zona residencial, no necesariamente expuesta.

Las acciones de forestación y parquización tendrían un impacto positivo sobre la calidad de vida de la población, contribuyendo a la calidad de la atmósfera y, por ende, a una mejorar calidad del vivir de las personas. Asimismo, dichas acciones contribuirían a un impacto positivo sobre la aceptabilidad social de la obra, por fines estéticos como también por la función que la misma podría cumplir en relación con posibles olores [9].

8.9.2.Descripción de impactos en fase de funcionamiento

8.9.2.1. Calidad del aire

8.9.2.1.1.Impactos negativos

La principal modificación a la calidad del aire es la existencia de olores, a pesar de que su composición química no es substancialmente modificada. En la matriz, se señalan aquellas acciones que producen olores indeseables, las cuales involucran procesos que generan efluentes gaseosos. Específicamente la presencia de ácido sulfhídrico y de amoníaco producto de la degradación de la materia orgánica son los principales contaminantes generadores de olores. Sin embargo, al tratarse de una planta de tecnología aireada, no se deberían generarse estos compuestos típicos de degradación anaeróbica. Por otro lado, se señalan ciertas acciones que disminuyen la calidad del aire con respecto a la generación de ruidos.

El funcionamiento normal de la planta, principalmente en los reactores aireados, puede generar espumas en superficie o brumas con olores desagradables. La gestión de lodos primarios y secundarios es susceptible de generar olores, principalmente dentro de la planta. Si bien estas acciones producen un impacto negativo para el medio terrestre, todas las acciones en su conjunto generan una acción positiva de mejora a la actual situación de infiltración de los lixiviados al suelo.

Si bien se generarán olores que hasta el presente no existían los mismos estarán en rangos aceptables y sometidos a la acción dispersante de los agentes meteorológicos.

Estas acciones son de carácter reversible, debido a que su concentración se dispersa en la atmósfera, proceso que depende de factores climatológicos como la temperatura, la velocidad del viento, el movimiento de sistemas de altas y bajas presiones. Sus efectos son más notorios en condiciones de humedad alta y baja velocidad del viento y en presencia de una inversión térmica en la cual la mezcla atmosférica se retarda, acumulando los contaminantes cerca del suelo.

La magnitud es variable según las condiciones climáticas, siendo su influencia en general baja en días con poca intensidad del viento y llegando a ser de media en días ventosos. En ocasiones con vientos del NorOeste sus efectos pueden llegar a sectores con mayor urbanización.

8.9.2.2. Agua

8.9.2.2.1. Impactos negativos

La afectación del agua subterránea podría darse ante una contingencia que implique la fuga o el derrame del efluente lixiviado o algún producto químico produciendo la afectación del suelo y posteriormente del agua subterránea, lo que ocurriría con particular rapidez en la zona del Proyecto ya que el nivel de las aguas subterráneas se encuentra cercano a la superficie (< 20 m).

Se considera que la intensidad del impacto sobre las aguas subterráneas, en caso de ocurrir un derrame, será alta ya que se trata de sustancias contaminantes, la extensión es zonal (por tratarse de un medio dispersante) y la probabilidad de ocurrencia del mismo es baja, siempre y cuando se cuente con medidas de prevención de tales contingencias. El efecto se sentirá en el mediano plazo, ya que las sustancias deberán atravesar el suelo localizado por encima del nivel freático afectado [124].

La acción de by pass producirá una situación crítica en donde el efluente no podrá ser tratado en la planta. Un camión atmosférico deberá retirar el líquido crudo y lo deberá llevar hasta una planta de tratamiento de efluentes, pudiendo ser esta una de efluentes cloacales. Actualmente el partido de Necochea no cuenta con una planta de dichas características, sino que vuelca sus efluentes cloacales crudos al mar. En caso de que se optara por este tipo de vuelco, esta acción debe ser catalogada de impacto negativo elevado. Desde el punto de vista temporal, el impacto será reversible, en la medida que cese el by pass y desde el punto de vista espacial, también dependerá del período que dure esta acción y de las condiciones oceanográficas reinantes. En caso de optar por el transporte del efluente hasta la planta de tratamiento de efluentes cloacales más cercano (posiblemente Mar del Plata), el impacto

asociado no sería elevado sino leve. Se ha cuantificado el impacto de la situación menos crítica, considerando que deberá evitarse, a toda costa, la inyección del efluente sin tratar al océano.

8.9.2.2.2. Impactos positivos

El tratamiento del efluente conlleva un impacto positivo, habida cuenta de que toda acción que evite el vuelco o infiltración de efluente lixiviado crudo altamente cargado en contaminantes conduce a una situación mejorable en el sistema de saneamiento local y debe ser considerado como un impacto positivo.

La acción de reúso del efluente tiene asociado un impacto positivo debido al ahorro en consumo de agua para el riego de caminos y vegetación, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del Proyecto.

Las acciones de "Mantenimiento y Limpieza" permitirá además que el sistema de tratamiento funcione correctamente para el beneficio sostenido del medio hídrico.

8.9.2.3. Flora y Fauna

8.9.2.3.1. Impactos positivos

Como se ha visto, el sistema de tratamiento previsto tiene como función la remoción de la carga contaminante del efluente lixiviado del relleno sanitario, que, a partir de la puesta en marcha de la planta, y tras el correcto desarrollo del relleno sanitario, no van a infiltrarse por el suelo sin tratamiento. Independientemente de la descripción del medio físico sobre el cual se realiza la descarga actual, evitar el vertido de este efluente sin tratar, constituye un impacto positivo sobre el ecosistema.

8.9.2.4. Medio socioeconómico

8.9.2.4.1. Impactos negativos

A diferencia de otras plantas de tratamiento de efluentes, esta se encuentra dentro del predio de disposición final de RSU, por lo que las acciones de disposición de lodos y residuos no generan un impacto negativo sobre los servicios e infraestructura como que el ocurriría si se tratara de sitios separados.

En caso de una situación de by-pass, sí se vería un impacto negativo hacia los servicios e infraestructura debido a que se tendrá que incurrir en la contratación de un servicio de retiro del efluente. Asimismo, la calidad de vida se vería impactada por la emanación de olores en el transporte del efluente y de la planta misma por la parada del tratamiento.

8.9.2.4.2. Impactos positivos

Todas las acciones correspondientes al tratamiento efectivo de la carga contaminante del efluente lixiviado tendrían un impacto positivo sobre las actividades turísticas, recreativas, comercial y de servicios, ya que la conservación de un ambiente sano posee un valor económico intrínseco no-cuantificable.

El tratamiento del efluente incidiría de manera positiva sobre el valor del suelo, ya que el mismo es sensible entre otros aspectos, a todas las externalidades del entorno, ya sean positivas como negativas.

El mantenimiento de las instalaciones impactaría positivamente sobre el conjunto de los factores vinculados a la economía del área, principalmente a la conservación de la infraestructura de saneamiento.

Las acciones de operación y mantenimiento implicarán la apertura de puestos de trabajo, que, si bien no serán numerosos, permitirán la incorporación de mano de obra calificada a la región, como también la capacitación de personal local para la realización de dichas tareas.

Las acciones antes mencionadas, también redundarían positivamente sobre la calidad de vida y salud pública, al evitar la contaminación de los recursos naturales.

El proyecto responde a las preocupaciones ambientales de la población expresadas por la falta de un tratamiento adecuado de los efluentes lixiviados del predio de disposición final del municipio.

8.10. Matriz de impactos

Tabla 170. Matriz de impactos ambientales del proyecto.

Etapas del Proyecto / Componentes del medio receptor			Construcción								Operación								
			A. Desmonte y nivelación del terreno	B. Movimiento de camiones y maquinaria pesada	C. Instalación de obrador	D. Obra civil	E. Excavación y construcción de laguna	F. Montaje electromecánico	G. Consumo de materiales y servicios	H. Forestación y Parquización	I. Tratamiento del efluente	J. Operación normal	K. By Pass	L. Gestión de residuos	M. Gestión de lodos	N. Capcitación del personal	O. Limpieza y mantenimiento	P. Vuelco y/o reúso del efluente	Valor medio
Medio Físico	Aire	Calidad	-25	-25		-18	-25	-15				-26	-18	-21	-35				-23
		Ruido	-25	-25	-18	-44	-39	-27				-21	-15						-27
	Suelo	Calidad	-27	-27	-22	-27	-24							-21	-21				-24
		Compactación	-33	-25		-25	-33												-29
	Agua	Calidad Superficial	-14	-14		-14	-14												-14
		Calidad Subterránea	-24	-24		-24	-24												-24
Medio Biológico	Flora	Alteración de hábitat	-19	-19	-18	-18	-19												-19
	Fauna	Alteración de hábitat	-18	-18	-18	-18	-18												-18
Medio Socio Económico	Nivel de empleo																		
	Actividades económicas																		
	Calidad de vida												-19						
	Servicios e infraestructura								-15				-22						-19
	Paisaje		-22		-22	-18	-22												-21
Valor medio			-23	-22	-20	-23	-24	-21	-15			-24	-19	-21	-28				

8.11. Plan de gestión ambiental

El Plan de Gestión Ambiental se compone del Plan de Mitigación Ambiental, Plan de Monitoreo Ambiental y Plan de Contingencias Ambientales. El conjunto de estos documentos tiene por objeto evitar, reducir, recomponer (Plan de Mitigación Ambiental), controlar (Plan de Monitoreo Ambiental) y responder (Plan de Contingencias Ambientales) ante aquellos impactos potenciales del Proyecto, identificados a partir de la EIA.

8.11.1. Medidas de mitigación

8.11.1.1. En fase de Construcción

En la etapa de Construcción, durante de instalación del obrador, se deberán implementar las siguientes acciones [124]:

- Los sitios destinados a estas instalaciones deberán tener un adecuado nivel de limpieza e impermeabilización, ubicándose sobre suelos estables y secos.
- Todo producto químico utilizado en la obra debe contar con su hoja de seguridad en un lugar accesible donde conste claramente la peligrosidad del producto, las medidas de prevención de riesgos para las personas y el ambiente y las acciones a desarrollar en caso de accidente a las personas o al ambiente.
- Se deberá verificar en todos aquellos sectores en los cuales se acopien combustibles, aceites y lubricantes destinados al uso y mantenimiento de la maquinaria y equipos de obra, la existencia y disponibilidad de material absorbente en cantidad suficiente en función de los volúmenes de líquidos almacenados.
- El acopio de materiales debe realizarse en un sitio claro cercano al obrador. El lavado de los equipos de construcción se realizará, en la medida de lo posible, fuera de las instalaciones de la obra y en talleres adecuados.
- Se deberán tomar todos los recaudos para minimizar la generación de ruidos y vibraciones. Se deberán adecuar los niveles sonoros y horarios de trabajo, para que sean compatibles con el entorno.
- Durante las tareas de movimiento de suelos y durante jornadas de elevada temperatura o largos períodos sin lluvias se procederá al humedecimiento del terreno circundante al obrador en caso de ser necesario controlar la generación de polvos o material particulado.

El movimiento de suelos, la nivelación y compactación constituyen las actividades que mayor proporción de polvos y material particulado generarán durante la Etapa de Obra del Proyecto. Para el control de estas emisiones se ha considerado la adopción de medidas operativas y técnicas las que se detallan a continuación.

Medidas destinadas a impedir la formación de polvo:

- Estas medidas serán de aplicación principalmente en la operación de la descarga del material extraído desde la pala de la retroexcavadora hacia el sitio de vuelco del mismo. En estas operaciones se procurará:
- Reducir la altura de caída cuando se descarga el material.
- Evaluar detener las operaciones cuando se presenten vientos fuertes.

- Posicionar correctamente la maquinaria vial cuando se efectúe la descarga hacia un camión o semi.

En la selección de los sitios de almacenamiento transitorio de los áridos, se priorizará:

- Reducir las distancias de transporte.
- Reducir las distancias expuestas al viento.

Por otro lado, para reducir o evitar las emisiones de polvo generadas durante el tránsito de vehículos por caminos de acceso internos, así como en el almacenamiento transitorio de los materiales se podrá humedecer el camino o el material acumulado.

8.11.1.2. Gestión de residuos

Tanto para la etapa de Construcción como de Operación se deberán implementar las siguientes acciones [124]:

- Aplicar una gestión de minimización de residuos en todas las etapas del Proyecto. El personal deberá comprometerse con este objetivo, para lo cual será capacitado para lograr una correcta gestión de los residuos.
- Los trabajadores que manipulen residuos deberán utilizar los elementos de protección personal.
- Los residuos deberán almacenarse de acuerdo a su origen, de forma tal que se facilite su disposición.

Respecto a los efluentes cloacales, para la etapa de Construcción se utilizarán baños químicos que serán provistos por una empresa contratista que retirará periódicamente los mismos para su tratamiento y desecho debidamente autorizado, mientras que durante la fase de Operación los efluentes cloacales se incorporarán como corriente de tratamiento a la planta.

8.11.1.3. Seguridad e higiene

8.11.1.3.1. Capacitación del personal

Se realizarán programas de capacitación teórica y práctica para prevenir accidentes en todas las etapas del proyecto. El responsable de dictar los cursos será el Técnico o Licenciado en Seguridad e Higiene responsable del proyecto. El programa deberá contar con una inducción a todo el personal y subcontratistas. Se deberá reforzar con cursos durante el año.

8.11.1.3.2. Mantenimiento de señalización y equipos extintores

Se deberá realizar una verificación mensual de los extintores de incendios como también del resto de los equipos de seguridad, conforme al cronograma que presentará el Responsable de Seguridad e Higiene.

Se deberá verificar la correcta colocación de cartelería de advertencia necesaria en cada sitio, según la peligrosidad de cada caso. En el mismo sentido, se deberá contar con un plan de evacuación correctamente planificado y señalizado. Se deberán realizar simulacros con una periodicidad prudente.

8.11.2. Plan de Monitoreo Ambiental

El objetivo del programa de monitoreo es demostrar el éxito técnico del proyecto, vigilar la eficacia de las medidas de mitigación y proveer datos científicos con los cuales responder a las críticas o reclamos sobre el impacto adverso del proyecto. Este instrumento contribuye además a mejorar el diseño de los proyectos futuros, sus evaluaciones ambientales y los procedimientos de la Evaluación de Impacto Ambiental.

Los parámetros a monitorear en cada componente del medio se presentan en la Tabla 171, junto con la frecuencia de muestreo y su lugar.

Tabla 171. Plan de monitoreo ambiental [124].

Medio	Parámetro	Frecuencia de muestreo/monitoreo	Lugar de Monitoreo
Suelo	pH; Conductividad; Cianuros; Boro; Hierro; Cobre; Cadmio; Zinc; Cromo total; Manganeso; Níquel; Plomo; Cobalto; Arsénico; Mercurio; Hidrocarburos de Petróleo (HCP); BTEX; Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PAHs)	En caso de ocurrencia de un derrame	Puntos seleccionados a lo largo de la zona afectada por el derrame
Agua subterránea	pH; Conductividad Eléctrica; Turbiedad; Color; Dureza Total; Alcalinidad Total; Calcio; Magnesio; Sodio; Potasio; Cloruros; Sulfatos; Nitratos; Nitritos; Fosfato; DQO; Cianuros Totales; HTP; Nitrógeno Total; Amonio; Boro; Hierro Total; Cobre Total; Cadmio; Zinc Total; Cromo Total; Manganeso Total; Níquel Total; Plomo; Cobalto; Mercurio Total; Arsénico; Benceno; Tolueno; Etilbenceno; M,P-Xileno; O-Xileno (1,2- Dimetilbenceno); Xileno Total; Naftaleno; Acenaftileno; Acenafteno; Fluoreno; Fenantreno; Antraceno; Fluoranteno; Pireno; Benzo (a) Antraceno; Criseno; Benzo (b,k) Fluoranteno; Benzo (a) Pireno; Indeno (1,2,3-cd) Pireno; Dibenzo (a,h) Antraceno; Benzo (g,h,i) Perileno; Fenol; O-Cresol (2,Metilfenol); M,P-Cresol	Anual	En los freatímetros o red de monitoreo asociada a la instalación
Calidad de aire	MP, NOx, CO, SO2, BTEX Ruidos molestos	Anual	3 puntos aguas abajo y 3 puntos aguas arriba del Predio
Efluente líquido	Cianuros; Hidrocarb. Totales; Sulfuros; S. Fenólicas; Carbono Organico. Total (g); Hierro (soluble); Manganeso (soluble); Cinc; Níquel; Cromo Total; Cadmio; Mercurio; Cobre; Aluminio; Arsénico; Bario; Boro; Cobalto; Selenio; Plomo; Cloro Libre; S.A.A.M.	Mensual	Posterior al tratamiento y previo al vuelco del efluente
	pH; Sólidos Sed. 10'; Sólidos Sed.2hs; S.S.E.E.; Nit. Amoniacal; D.B.O.; D.Q.O.; Nitrógeno Total; Fósforo Total	Semanal	Previo al tratamiento y posterior al tratamiento
Agua de consumo	Físico químico y bacteriológico	Anual y semestral	En el agua de bidones

8.11.3. Plan de Contingencias Ambientales

El objetivo del Plan de Contingencias Ambientales es el de establecer los procedimientos a llevar a cabo para prevenir y/o remediar la ocurrencia probable de siniestros o desastres por causa de las acciones del Proyecto [124].

Esto requiere de la formulación de un PCA cuyo propósito será garantizar una adecuada respuesta ante incidentes o eventos que pongan en riesgo los recursos naturales, la integridad de las personas vinculadas y no vinculadas al Proyecto, o los bienes del predio [124].

8.11.3.1. Detección y control del derrame

- Si se produjera un derrame de lixiviados o cualquier sustancia peligrosa, deberá en primer término bloquear el origen de la pérdida o derrame. En caso de que esto no resulte posible podrá ser derivado a algún sitio estanco donde pueda contenerse sin afectar el medio circundante, por ejemplo, hacia la laguna de ecualización de lixiviados o a las celdas del relleno que tengan espacio disponible [124].
- Contener el derrame con sumo cuidado, sin mezclar el producto con el suelo. Esta contención también debe realizarse en terrenos con pendiente o desnivelados. Pueden formarse bordes de contención mediante el empleo de maquinaria vial o paleros [124].
- Si el derrame es de gran envergadura se debe tratar de recuperar el fluido acumulado mediante el uso de un camión con equipo de vacío apropiado para la tarea. Luego, éste fluido deberá tratado de acuerdo a lo indicado en el Plan de Mitigación, en la sección "Gestión de Residuos" [124].
- En caso de que el fluido haya llegado al suelo, se recoge en forma inmediata una capa de 10 cm del suelo por debajo del mismo, de manera de evitar la migración del contaminante a mayor profundidad. Estos suelos deberán ser tratados y dispuestos según corresponda en el Procedimiento de "Gestión de Residuos" y luego se repondrá el suelo extraído en igual cantidad a la existente antes del derrame [124].

8.11.3.1.1. Recomposición del Medio Ambiente

Una vez que no exista peligro para las personas se iniciarán las tareas de recomposición y remediación ambiental, tales como [124]:

- Limpieza de la zona.
- Control de daños.
- Eliminación de peligros para la salud y seguridad de los trabajadores.
- Restablecimiento de servicios.

8.11.3.2. Detección y Control de Incendios

La persona que detecte el incendio dará la voz de alarma. La persona designada en el rol de llamadas de la Municipalidad dará aviso al cuartel de bomberos.

En caso de que el incendio sea un fuego incipiente, se intentará (siempre y cuando se evalúe que sea seguro hacerlo) sofocarlo con los extintores correspondientes al tipo de fuego, o mediante el uso de la red contra incendios del Proyecto.

En caso de ser un incendio declarado e incontrolable el Supervisor de Operaciones pondrá en práctica estas acciones [124]:

- Evacuar a todas las personas que se encuentren presentes en el Predio hasta ubicarlas en un lugar seguro previamente definido como "punto de reunión". Este lugar debe definirse en el procedimiento de la Municipalidad y ser

conocido por toda persona que ingrese al Predio (personal propio, contratistas, transportistas, visitas, etc.).

- Alertar a los servicios de autobomba y seguridad según corresponda indicando lugar y forma de llegar. Bloquear los accesos de otros vehículos y personas ajenas a los equipos de respuesta a la emergencia.
- Alejar todos los elementos combustibles de la zona de incendio siempre y cuando sea seguro hacerlo.

8.11.3.2.1. Recomposición del Medio Ambiente

Una vez que no exista peligro para las personas se iniciarán las tareas de recomposición y remediación ambiental, tales como [124]:

- Recolección de escombros.
- Control de daños.
- Eliminación de peligros para la salud y seguridad de los trabajadores.
- Restablecimiento de servicios.

8.12. Conclusión

Las características del proyecto se corresponden a soluciones convencionales y avanzadas comprobadas de los modos de mitigar el impacto ambiental negativo de los efluentes provenientes del relleno sanitario de Necochea.

Los impactos negativos más significativos del Proyecto tendrán relación con: afectaciones a la calidad del aire por la generación de polvo en la construcción, el uso de maquinaria y equipos a combustión, y el incremento del tráfico vehicular; afectaciones al suelo por su movimiento y compactación en la fase constructiva; a la vegetación y a la fauna, por intervenir en su hábitat.

Por otro lado, se identificaron impactos positivos por la realización del Proyecto como: la generación de empleo utilizando mano de obra de los centros poblados más cercanos (Necochea-Quequén) y beneficiando indirectamente la economía y la población local; el aumento en la calidad de vida que representa el cese de la contaminación del predio de disposición final; y el incremento de infraestructura de saneamiento en una región desprovista del mismo.

Como conclusión de la Evaluación de Impacto Ambiental presentado en este Capítulo, el desarrollo del Proyecto "Planta de tratamiento de efluentes lixiviados", teniendo en cuenta las medidas propuestas en el Plan de Gestión Ambiental, resulta viable, sin esperar consecuencias mayores a las descriptas sobre el medio físico y biológico. Si se aplican las medidas propuestas básicas, se podrá realizar la construcción y operación de la planta disminuyendo significativamente las consecuencias negativas para el ambiente.

CAPÍTULO 9. Conclusiones finales

9.1. Conclusiones del proyecto

La construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del relleno sanitario proyectado en el Partido de Necochea responde a una necesidad regional de saneamiento, en particular, la referida a frenar la actual contaminación generada por la disposición no controlada de residuos y su correspondiente infiltración de lixiviados en el suelo y agua subterránea.

Los lixiviados de rellenos sanitarios son efluentes complejos de tratar por su elevada concentración de contaminantes, principalmente debido a su alto contenido en materia orgánica y nitrógeno.

En el presente proyecto se han formulado dos alternativas de tratamiento, compuestas, cada una, por una serie de unidades en serie que combinan tecnologías físicas, químicas y biológicas. La remoción del nitrógeno, principalmente amonio, ha sido un punto crítico en el diseño de ambas alternativas. Para garantizar su eliminación, se debió reparar y profundizar en los bioprocesos de nitrificación y desnitrificación. Otro desafío del proyecto, previo al diseño del tren de tratamiento, fue la estimación de la generación del efluente, ya que no había estimaciones ni registros locales. Se debió recurrir a una metodología de cálculo exhaustiva para obtener los valores de caudales a tratar.

Tras la formulación y comparación de las dos alternativas, se escogió la que más ventajas presenta teniendo en cuenta aspectos económicos (CAPEX y OPEX), de eficiencia y superficie ocupada. La alternativa seleccionada se compone de un pozo de bombeo, una laguna de ecualización, un tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación-sedimentación, un reactor anóxico seguido de un reactor aireado de membranas MBR, un tratamiento terciario con filtros de carbón activado y un sistema de deshidratación de lodos.

Se destaca la aplicación de la tecnología avanzada de MBR, que le otorga al proceso una eficiencia destacable tanto en materia orgánica como amoníaco y sólidos suspendidos totales. Por la filtración que atraviesa el efluente, las condiciones de salida son favorables para reutilizar el mismo en riego, lavado de pisos, equipos, camiones, etc. Asimismo, cumple con los requerimientos exigidos por ADA para su vertido en absorción por suelo.

La viabilidad social y ambiental se verificó por medio de la Evaluación de Impacto Ambiental, la cual permitió identificar potenciales impactos de la obra. Como resultado del estudio, se elaboró un Plan de Gestión Ambiental adecuado a las características del proyecto. Las acciones sugeridas en el PGA permiten mitigar, controlar. A su vez, el proyecto es económicamente viable gracias a los fondos del préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo N°3249/OC-AR, bajo el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para municipio turísticos.

En conclusión, el presente proyecto es viable técnica, económica, social y ambientalmente.

9.2. Conclusiones personales

El Proyecto Final Integrador significó un gran desafío personal como también una valiosa instancia de crecimiento profesional en el campo de la Ingeniería Ambiental. Se trató de la primera experiencia individual de elaboración de un proyecto de tal escala y detalle.

Inicialmente, mi plan era visitar el predio donde se ubica el actual sitio de disposición de residuos de Necochea, recorrer la ciudad y relevar información in situ, pero, debido a las restricciones de la pandemia COVID-19, esto no fue posible. Como alternativa me propuse entrevistar a especialistas y referentes locales por medio de los cuales pude entender el complejo entramado social y político que derivó en las deficiencias de la gestión de los residuos en el municipio. A su vez, realicé el mismo proceso con especialistas vinculados al tratamiento de efluentes y la gestión de residuos, en especial del CEAMSE, con quienes pude cotejar las alternativas propuestas. Estos intercambios han sido de mucha ayuda no sólo para el desarrollo técnico del Proyecto sino también para mi enriquecimiento como profesional del área ambiental.

A sabiendas de que este proyecto iba a conllevar varios meses de dedicación y estudio, mi objetivo siempre fue el de trabajar sobre una problemática ambiental real y actual. Es mi deseo que el Municipio de Necochea aúne esfuerzos para poner en marcha las obras de saneamiento que hacen falta para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y turistas.

CAPÍTULO 10. Bibliografía

[1] N. Ferronato y V. Torretta, «Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues,» *Int J Environ Res Public Health. 2019 Mar; 16(6): 1060.,* vol. 16, nº 6, p. 1060, 2019.

[2] Defensoría del Pueblo Provincia de Buenos Aires, «Informe Basurales a Cielo Abierto,» 2015.

[3] A. Ciancaglini, Interviewee, *Responsable de Recolección de Residuos.* [Entrevista]. 29 Abril 2020.

[4] E. Rondón Toro, M. Szantó Narea, J. F. Pacheco, E. Contreras y A. Gálvez, «Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios,» Naciones Unidas - CEPAL, Santiago de Chile, 2016.

[5] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, «Reglamento Operativo. Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos,» Buenos Aires, 2015.

[6] G. Ing. Botella, Interviewee, *Entrevista al Subsecretario de Planeamiento de Necochea.* [Entrevista]. 17 Diciembre 2020.

[7] M. Sarasíbar, Interviewee, *Entrevista al ex Secretario de Planeamiento y Medio Ambiente de Necochea (2003-2011).* [Entrevista]. 21 Abril 2020.

[8] J. M. Zingoni, Interviewee, *Arquitecto. Especialista en Planificación y Administración del Desarrollo Regional.* [Entrevista]. 26 Marzo 2020.

[9] R. Ferraro, J. Alvarez, P. Martos, R. Reta, M. Sagua, M. Scagliola y L. Zulaica, «Estudio de evaluación de impacto ambiental de la planta de pretratamiento de efluentes cloacales Necochea-Quequén,» FAUD-UNMdP, Mar del Plata, 2007.

[10] C. Ing. Fontán, Interviewee, *Entrevista al Subgerente de Planificación - CEAMSE.* [Entrevista]. 7 Mayo 2020.

[11] J. Ing. Brion, Interviewee, *Consulta vía correo electrónico al Subgerente del Área de Residuos Privados y Especiales.* [Entrevista]. 21 Noviembre 2019.

[12] G. Ing. Pinciroli, Interviewee, *Entrevista al jefe del Departamento Control de Plantas de Tratamiento de Líquidos Lixiviados del CEAMSE.* [Entrevista]. 9 Mayo 2020.

[13] TECSAN IASA, *Proyecto Ejecutivo: Diseño Construcción y Operación del Centro de Disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Sistemas Asociados de Municipio de General Pueyrredón,* Mar del Plata: Municipio de General Pueyrredón, 2018.

[14] CEAMSE, «Licitación Pública Nacional Nro. 05/18,» 07 02 2019. [En línea]. Available: http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2018/12/4MemTecnica.pdf. [Último acceso: 16 Julio 2019].

[15] CEAMSE, «Licitación pública nacional N°05/18 para contratar la construcción del sector C del módulo 1 y operación y mantenimiento del complejo ambiental Mar del Plata,» 2018. [En línea]. Available: https://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2018/12/4MemTecnica.pdf. [Último acceso: 18 Junio 2020].

[16] CEAMSE, «Norte III,» [En línea]. Available: https://www.ceamse.gov.ar/area-de-cobertura/norte-iii/. [Último acceso: 23 Junio 2020].

[17] Dirección Nacional de Gestión Integral de Residuos, «Guía para la Fromulación y Presentación de Proyectos de Obras en Gestión Integral de Residuos,» [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia-para-la-formulacion-y-presentacion-de-proyectos-de-obras.pdf. [Último acceso: 10 Marzo 2020].

[18] A. Andersen, «Puerto Quequén: aspectos ambientales a considerar en un Sistema de Gestión Ambiental. Posibilidades de implementación desde una perspectiva de desarrollo e integración con el partido de Necochea,» UNICEN, Tandil, 2013.

[19] Secretaría de Planeamiento y Medio Ambiente - Municipalidad de Necochea, «Código de Desarrollo Sostenible del Partido de Necochea,» Agosto 2010. [En línea]. Available: https://ieu9.files.wordpress.com/2014/09/codescapc3adtulo-1.pdf. [Último acceso: 20 Marzo 2020].

[20] Dirección Provincial de Estadística de la provincia de Buenos Aires, «Estudios de POBLACIÓN de la provincia de Buenos Aires,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/images/Revista_3.pdf. [Último acceso: 29 Marzo 2020].

[21] Municipalidad de Necochea, «Plan Urbano Ambiental: Plan Estratégico-Participativo de Desarrollo Urbano Ambiental del Partido de Necochea. Diagnóstico preliminar.,» Necochea, 2006.

[22] D. Córpaz, «Potencialidad turística del Partido de Necochea. Lineamientos para la diversificación de la oferta turística recreativa.,» Universidad Nacional del Sur, 2016. [En línea]. Available: http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/3369/1/TESINA%20CORPAZ%202016.pdf. [Último acceso: 29 Marzo 2020].

[23] INDEC, «Estimaciones de población por sexo, departamento y año calendario. Años 2010-2025. Informe técnico y cuadros. Serie análisis demográfico Nº 38.» INDEC, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2015.

[24] INDEC, «Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas,» 2001. [En línea]. Available: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia2001-1-1-06-1-2001. [Último acceso: 29 Marzo 2020].

[25] INDEC, «Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas,» 2010. [En línea]. Available: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-999-06-581-2010. [Último acceso: 29 Marzo 2020].

[26] Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, «Provincia de Buenos Aires - Residuos Sólidos Urbanos,» La Plata.

[27] Municipalidad de Necochea, «A partir de hoy se realizarán los refuerzos de temporada de la recolección de residuos,» 21 Diciembre 2018. [En línea]. Available: http://www.necochea.gov.ar/a-partir-de-hoy-se-realizaran-los-refuerzos-de-temporada-de-la-recoleccion-de-residuos/. [Último acceso: 07 Marzo 2020].

[28] Senado de la Nación, «Estrategia Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos,» Septiembre 2005. [En línea]. Available: http://retosalsur.org/wp-content/uploads/2013/08/ENGIRSU-AR-2005.pdf. [Último acceso: 22 Marzo 2020].

[29] BID-AIDIS-OPS, «Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC 2010,» 2011. [En línea]. Available: https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf. [Último acceso: 11 Abril 2020].

[30] OPDS, «Estrategia Provincial para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos - Anexo 1 de Res. 580/19,» 21 Noviembre 2019. [En línea]. Available: http://www.ecofield.net/Legales/BsAs/res580-19_OPDS-a1.pdf. [Último acceso: 12 Abril 2020].

[31] BID, «Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos - Préstamo 3249/OC-AR,» Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.turismo.gob.ar/sites/default/files/AAS_y__MGAS_GIRSU_ARG1.pdf. [Último acceso: 21 Febrero 2020].

[32] CEAMSE, *Economía Circular 2020,* Buenos Aires: CEMA, 2020.

[33] Municipalidad General Pueyrredón, «Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios,» 17 Julio 2019. [En línea]. Available: https://datos.mardelplata.gob.ar/?q=dataset/composici%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-domiciliarios. [Último acceso: 04 Abril 2020].

[34] C. R. Febbraro, «Comparación Normativa Municipal,» Mar del Plata, 2011.

[35] Municipalidad de Necochea, *Pliego de Bases y Condiciones Generales para la concesión del servicio Público de Higiene Urbana del Partido de Necochea,* Neochea, 2010.

[36] Municipalidad de Necochea, «Municipalidad de Necochea,» 24 Mayo 2018. [En línea]. Available: http://www.necochea.gov.ar/se-podra-solicitar-el-servicio-de-recoleccion-domiciliaria-a-traves-del-147/. [Último acceso: 7 Marzo 2020].

[37] Municipalidad de Necochea, «Diario Necochea,» 22 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://diarionecochea.com/v2/2020/03/20/cambio-en-las-frecuencias-del-servicio-de-recoleccion-de-residuos/. [Último acceso: 2 Mayo 2020].

[38] Naciones Unidas - Habitat, «Premio Internacional de Dubai a las Buenas Prácticas para Mejorar las Condiciones de Vida,» 2012. [En línea]. Available: http://habitat.aq.upm.es/dubai/12/bp4375.pdf. [Último acceso: 8 Marzo 2020].

[39] Biblioteca CF+S, «Ciudades para un Futuro más Sostenible,» 2008. [En línea]. Available: http://habitat.aq.upm.es/dubai/12/bp4375.pdf.

[40] Política Necochea, «Más incertidumbre sobre el tratamiento de los residuos patogénicos a cargo de la monopólica SA,» 28 Noviembre 2014. [En línea]. Available: http://web.politicanecochea.com.ar/locales/2014/11/28/incertidumbre-sobre-tratamiento-residuos-patogenicos-cargo-monopolica-3275.html. [Último acceso: 21 Marzo 2020].

[41] HCD Necochea, «Ordenanzas de Febrero 2017,» 28 Febrero 2017. [En línea]. Available: http://www.necochea.gov.ar/wp-content/uploads/2017/07/ORDENANZAS-FEBRERO-2017.pdf. [Último acceso: 21 Marzo 2020].

[42] Sistemas Ambientales SA, «Sistemas Ambientales SA / Servicios,» [En línea]. Available: http://sistambi.com.ar/servicios/. [Último acceso: 21 Marzo 2020].

[43] Política Necochea, «Cuatro inhibiciones impiden una cesión. Denuncia por incumplimientos reiterados en el pliego de bases y condiciones de Servicios Ambientales,» 17 Abril 2015. [En línea]. Available: http://web.politicanecochea.com.ar/locales/2015/4/17/cuatro-inhibiciones-impiden-cesion-denuncia-incumplimientos-reiterados-pliego-bases-condiciones-servicios-ambientales-4094.html. [Último acceso: Marzo 2020].

[44] Diario Cuatro Vientos, «La recolección de basura cambia de manos en 20 días,» 14 Mayo 2015. [En línea]. Available: https://www.diario4v.com/necochea/2015/5/14/recoleccin-basura-cambia-manos-das-7921.html. [Último acceso: 21 Marzo 2020].

[45] América TV, «Necochea: Usurparon un campo y lo convirtieron en basural,» América TV, 31 Mayo 2019. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?time_continue=46&v=zRdRJguZATc&feature=emb_logo. [Último acceso: 26 Julio 2019].

[46] Ahora Info, «Qué se hace con la basura en Necochea? la situación del basural a cielo abierto en 82 y 107,» 12 Diciembre 2013. [En línea]. Available: https://ahorainfo.com.ar/2013/12/politica-que-se-hace-con-la-basura-en-necochea-la-situacion-del-basural-cielo-abierto-en-82-y-107/. [Último acceso: 8 Marzo 2020].

[47] Necochea Net, «Servicio gratuito de recolección de residuos no domiciliarios,» 12 Septiembre 2013 . [En línea]. Available: http://www.necocheanet.com.ar/noticias/actualidad/5518-servicio-gratuito-de-recoleccion-de-residuos-no-domiciliarios.

[48] Municipalidad de Necochea, «El municipio continúa erradicando microbasurales a cielo abierto,» 17 Agosto 2018. [En línea]. Available: http://www.necochea.gov.ar/el-municipio-continua-erradicando-microbasurales-a-cielo-abierto/. [Último acceso: 26 Febrero 2020].

[49] M. de Luca y N. Giorgi, Residuos sólidos urbanos, RSU : estudio de estrategia y factibilidad, Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Cámara Argentina de la Construcción, 2015.

[50] G. Tchobanoglous y F. Kreith, Handbook of Solid Waste Management, 2ª edición ed., Davies: McGraw Hill.

[51] CEAMSE, «Diseño de un relleno sanitario,» CEAMSE, 2012.

[52] Y. Burquin, «Especialización en Ingeniería Ambiental. Estudio de Impacto Ambiental: Construcción de Relleno Sanitario para la disposición final de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Berisso,» UTN-FRLP, La Plata, 2018.

[53] ex Secretaría de Política Ambiental, *Resolución Nº 1143/02. Disposición de Residuos Sólidos Urbanos en Rellenos Sanitarios,* La Plata: OPDS, 2002.

[54] CEAMSE, «Guía para educadores: Gestión de los residuos en Buenos Aires,» [En línea]. Available: Esquema de un relleno sanitario e industrias asociadas. [Último acceso: 27 Febrero 2021].

[55] G. Tchobanoglous, H. Theisen y R. Vigil, Gestión integral de residuos sólidos, Mc Graw Hill, 1994.

[56] S. Renou, J. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan y P. Moulin, «Landfill leachate treatment: Review and opportunity,» *Journal of Hazardous Materials,* vol. 150, p. 468–493, 2008.

[57] F. E. Ramírez Ospina, J. M. Vélez G. y C. A. Madera Parra, «Tratamiento primario de lixiviado de relleno sanitario mediante bioreactor laguna anaerobia de alta tasa (BLAAT®): experiencia de arranque a escala piloto en contexto tropical.,» Universidad del Valle, Cali, 2014.

[58] «Complejo Ambiental Norte III - Monitoreo ambiental (2014-2016),» Marzo 2017. [En línea]. Available: http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2017/03/Monitoreo_Ambiental_Norte.pdf. [Último acceso: 10 Junio 2019].

[59] CEAMSE, «Complejo Ambiental Villa Domínico - Monitoreo Ambiental,» 2017. [En línea]. Available: http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2017/05/Monitoreo_Ambiental_Dom%C3%ADnico.pdf. [Último acceso: 15 06 2019].

[60] CEAMSE, «Ensenada,» [En línea]. Available: https://www.ceamse.gov.ar/area-de-cobertura/ensenada/. [Último acceso: 18 Junio 2020].

[61] CEAMSE, «Licitación pública nacional N°04/18, para contratar la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de líquidos lixiviados del complejo ambiental González Catán de CEAMSE. Memoria técnica,» 2018. [En línea]. Available: https://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2018/10/4MTecnica.pdf. [Último acceso: 18 Junio 2020].

[62] R. Stegmann, K. U. Heyer y R. Cossu, *Leachate Treatment,* 2005.

[63] T. Maehlum, «Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands,» *Water Sci. Technol.,* vol. 32, p. 129–135., 1995.

[64] R. Zaloum y M. Abbott, «Anaerobic pretreatment improves single sequenc- ing batch reactor treatment of landfill leachates,» *Water Science Technology,* vol. 35, p. 207–214, 1997.

[65] M. Loukidou y A. Zouboulis, «Comparaison of two biological treatment process using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment,» *Environmental Pollution,* vol. 111, p. 273–281, 2001.

[66] T. Hoilijoki, R. Kettunen y J. Rintala, «Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature,» *Water Resources,* vol. 34, p. 435–1446, 2000.

[67] J. Lema, R. Mendez y R. Blazquez, «Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review,» *Water Air Soil Pollution,* vol. 40, p. 223–250., 1988.

[68] E. Diamadopoulos, P. Samaras, X. Dabou y G. Sakellaropoulos, «Combined treatment of leachate and domestic sewage in a sequencing batch reactor,» *Water Science Technology,* vol. 36, p. 61–68, 1997.

[69] I. Lo, «Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills,» *Environment International,* vol. 22, p. 433–442, 1996.

[70] J. Jokela, R. Kettunen, K. Sormunen y J. Rintala, «Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate: low-cost nitrification in biofilters and laboratory scale in-situ denitrification,» *Water Resources,* vol. 36, p. 4079–4087, 2002.

[71] H.-H. Ngo, W. Guo y W. Xing, «Applied technologies in municipal solid waste landfill leachate treatment,» de *Waste Water Treatment Technologies - Volume II*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), 2008.

[72] A. Amokrane, C. Comel y J. Veron, «Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation,» *Water Research,* vol. 31, nº 11, pp. 2775-2782, 1997.

[73] A. A. Tatsi, A. I. Zouboulis, K. A. Matis y P. Samaras, «Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates,» *Chemosphere,* vol. 53, nº 7, pp. 737-744, 2003.

[74] I. Monje-Ramirez y M. Orta de Velásquez, «Removal and transformation of recalcitrant organic matter from stabilized saline landfill leachates by coagulation-ozonation coupling processes,» *Water Research,* vol. 38, pp. 2359-2367, 2004.

[75] X. Li, Q. Zhao y X. Hao, «Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation,» *Waste Management,* vol. 19, p. 409–415, 1999.

[76] E. Giraldo, «Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes,» Universidad de los Andes, Los Andes, 2014.

[77] ENOHSA, «Capítulo VIII - 7. Utilización de membranas y alternativas para la desalinización,» de *Fundamentaciones de los criterios*, 2010.

[78] S. Delgado, R. Villarroel, E. González y M. Morales, «Aerobic Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment – Performance Under Substrate-Limited Conditions,» de *Biomass - Detection, Production and Usage*, D. Matovic, Ed., 2011.

[79] S. Judd, The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Oxford: Elsevier Ltd, 2006.

[80] OPDS, «La niña mimada del CEAMSE: Nueva planta de tratamiento de lixiviados en Norte III,» *Ambiente Sostenible,* vol. 1, nº 1, pp. 8-12, 2015.

[81] Observatiorio Metropolitano CPAU, «Un paso clave para transformar la ex CEAMSE de Villa Domínico en un parque ecológico,» 9 Agosto 2017. [En línea]. Available: https://observatorioamba.org/noticias-y-agenda/noticia/un-paso-clave-para-transformar-la-ex-ceamse-de-villa-dominico-en-un-parque-ecologico#:~:text=El%20basural%20de%20Villa%20Dom%C3%ADnico,que%20formar%C3%A1n%20parte%20del%20concurso.. [Último acceso: 27 Febrero 2021].

[82] Serviur, «2008 – Pretratamiento de Lixiviados, Buenos Aires,» 2008. [En línea]. Available: https://serviur.com/2008-strans-s-a-ensenada-buenos-aires/?lang=es. [Último acceso: 1 Marzo 2021].

[83] R. Sarsby, Environmental Geothecnics, Londres: Thomas Telford, 2000.

[84] D. Fenn, K. Hanley y T. DeGeare, Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation from Solid Waste Disposal Sites, vol. 168, Cincinnati, Ohio: US EPA, 1975.

[85] A. Merlotto y M. C. Piccolo, «Tendencia climática de Necochea-Quequén (1956-2006), Argentina,» *Investigaciones Geográficas,* nº 50, pp. 143-167, 2009.

[86] USGS, «Thornthwaite Monthly Water Balance Model,» [En línea]. Available: https://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/SW_MoWS/Thornthwaite.html. [Último acceso: 21 Mayo 2020].

[87] C. Thornthwaite, «An approach toward a rational classification of climate.,» *Geography Rev.,* vol. 38, nº 1, p. 55–94, 1948.

[88] Metcalf & Eddy, INC, Ingeniería de Aguas Residuales, vol. 1, G. Tchobanoglous, F. L. Burton y H. D. Stensel, Edits., McGraw-Hill, 1995.

[89] Autoridad del Agua, «Resolución N°336/2003,» 2003.

[90] U.S. Environmental Protection Agency, Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers, Cincinnati: Office of Research and Development, 2011.

[91] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino y A. C. Tomasini Ortiz, Dimensionamiento de lagunas de estabilización, Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017.

[92] P. L. McCarty y C. F. Brodersen, «Theory of Extended Aeration Activated Sludge,» *Water Pollution Control Federation,* vol. 34, nº 11, pp. 1095-1103, 1962.

[93] M. G. Barrajas López, «Capítulo 3: Revisión bibliográfica,» de *Eliminación biológica de nutrientes en un reactor biológico secuencial*, Barcelona, Universidad de Catalunia, 2002.

[94] W. W. Eckenfelder, Industrial Water Pollution Control, vol. III, McGraw-Hill, 2000.

[95] M. Arnell, «Implementation of the Bürger-Diehl settlermodel on the Benchmark Simulation Platform,» Lund University, 2015.

[96] R. I. Méndez Novelo, E. Medina Hernández, C. Quintal Franco, E. R. Castillo Borges y M. R. Sauri Riancho, «Tratamiento de lixiviados con carbón activado,» *Ingeniería,* vol. 6, nº 3, pp. 19-27, 2002.

[97] R. I. MÉNDEZ NOVELO, E. R. S. R. M. R. CASTILLO BORGES, C. A. QUINTAL FRANCO, G. GIÁCOMAN VALLEJOS y B. JIMÉNEZ CISNEROS, «Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados,» *Revista Internacional de Contaminación Ambiental,* vol. 25, nº 3, pp. 133-145, 2009.

[98] E. Marañón, L. Castrillón, Y. Fernández-Nava y A. Fernández-Méndez, «Tertiary treatment of landfill leachates by adsorption,» *Waste Management & Research,* vol. 27, pp. 527-533, 2009.

[99] Tsurumi Pumps, *Catálogo de deshidratador de anillas serie MDQ.,* 2018.

[100 A. Barrenechea Martel, «Capítulo 4. Coagulación,» de *Manual*, Lima, OPS CEPIS, 2004, pp. 152-224.

[101 GRUNDFOS, *Grundfos Mixers and Flowmakers,* 2012.

[102 IWA, Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, C. M. López Vázquez, G. Buitrón Méndez, H. A. García y F. J. Cervantes Carrillo, Edits., London: Cambridge University Press, 2017.

[103 H. R. Ing. Schmidt, Hidrologia y diseño de captaciones de aguas superficiales y meteóricas. Estaciones de bombeo. Operacion y Mantenimiento, Buenos Aires: FIUBA, 2008.

[104 ISWA, «Landfill operational guidelines 3rd Edition. A report from ISWA's working group on landfill 2019,» ISWA, 2019.

[105 OPS/CEPIS, *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada,* Lima: CEPIS, 2004.

[106 EMO, *Plugflow Pipe Flocculator Brochure.*

[107 T. Melin, B. Jefferson, D. Bixioc, C. Thoeyec, W. De Wildec, J. De Koningd, J. van der Graaf y T. Wintgensa, «Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse,» *Desalination,* nº 187, p. 271–282, 2006.

[108 Centro de Investigaciones Toxicológicas, «Informe analítico Nº368737: Análisis de efluente lixiviado CEAMSE Norte III,» OPDS, Buenos Aires, 2019.

[109 Serman & Asociados S.A. Consultores, «Estudio de Impacto Ambiental Programa de Modernización y Mejoramiento de Puerto Quequén. Partido de Necochea – Provincia de Buenos Aires. CAPÍTULO 4: LÍNEA DE BASE AMBIENTAL,» Necochea, 2016.

[110 OPDS, Artist, *Organigrama OPDS.* [Art]. OPDS, 2020.

[111 ADA, Artist, *Organigrama ADA.* [Art]. ADA, 2020.

[112 Municipalidad de Necochea, «Parque eólico Vientos de Necochea,» 20 Febrero 2020. [En línea]. Available: http://www.necochea.gov.ar/comenzaron-los-ensayos-finales-del-parque-eolico-vientos-de-necochea/. [Último acceso: 31 Marzo 2020].

[113 Ministerio de Energía de la Nación, «Parque Eólico – "EOS Necochea",» 2010. [En línea]. Available: http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/renovables/fichas_plantas/pe_eosnecochea.pdf. [Último acceso: 31 Marzo 2020].

[114 FAUD/UNMDP, Habitar Necochea-Quequén: diagnóstico y propuestas para un desarrollo sustentable., Mar del Plata: Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Mar del Plata, 1997.

[115 A. M. López de Armentia, J. L. del Río, M. J. Bó, J. R. Álvarez, S. Bazzini y M. Alperin, «Propuesta de planificación ambiental costera del sector Bahía de los Vientos hasta Costa Bonita, provincia de Buenos Aires,» *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente,* nº 31, pp. 17-28, 2013.

[116 J. M. Sala y C. C. Cavalie, «Contribución al mapa hidrogeológico de la Provincia de Buenos Aires. Zona Interserrana,» Consejo Federal de Inversiones, Ciudad de Buenos Aires, 1993.

[117 R. Dosso, «Reconversión de la Estacionalidad y Revitalización del Escenario Turístico,» 29 Diciembre 2008. [En línea]. Available: http://nulan.mdp.edu.ar/2057/1/anduaga.2008.pdf. [Último acceso: 29 Marzo 2020].

[118 J. A. Amor, «La complejización económica de un espacio local en el marco de una estructura productiva nacional y provincial simple. Abordaje del sector turístico y las disputas en el frente costero en el caso Necochea-Quequén,» Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 2017.

[119 Ministerio de Producción. Secretaría de Transformación Productiva. Subsecretaría de Desarrollo y Planeamiento Productivo., «GPS Empresas: cantidad de empresas por provincia, departamento y sector (panel),» 2018.

[120 Provincia de Buenos Aires, «Guía de Estableciemientos Asistenciales,» marzo 2012. [En línea]. Available: https://www.mpba.gov.ar/files/content/guia-establecimientosvfamiliar.pdf. [Último acceso: 11 Abril 2020].

[121 Provincia de Buenos Aires | Dirección Provincial de Estadística, «Censo Provincial de Matrícula Educativa 2017,» Febrero 2018. [En línea]. Available: http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/dpe/images/Informe_CPME-2017.pdf. [Último acceso: 11 Abril 2020].

[122 La Nueva Diario, «Necochea construye una planta de efluentes cloacales,» 22 Agosto 2006. [En línea]. Available: https://www.lanueva.com/nota/2006-8-22-9-0-0-necochea-construye-una-planta-de-efluentes-cloacales. [Último acceso: 17 Diciembre 2020].

[123 L. Zulaica, A. Andersen y M. Tomadoni, «Aportes para la Evaluación de la Sostenibilidad Ambiental y Urbana de Necochea-Quequén, Argentina,» 2017. [En línea]. Available: http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal16/Procesosambientales/Proteccioncivil/02.pdf. [Último acceso: 23 Marzo 2020].

[124 Municipalidad de Zárate, «Evaluación de Impacto Ambiental "Centro de Disposición Final de RSU",» Zárate, 2019.

[125 COPIME, «Ejercicio Profesional: Honorarios Mínimos Sugeridos,» 2020. [En línea]. Available: https://www.copime.org.ar/pages/detail/62. [Último acceso: 12 Diciembre 2020].

[126 CEAMSE, «Glosario,» [En línea]. Available: https://www.ceamse.gov.ar/glosario/. [Último acceso: 16 Febrero 2020].

[127 Provincia de Córdoba, «DECRETO 847/2016 Anexo Único Reglamentación de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico,» 2016. [En línea]. Available: http://www.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2014/07/Vertido-de-Efluentes-Decreto-847.pdf.

[128 Senado de la Provincia de Buenos Aires, «Ley N° 13592. Gestión integral de los residuos sólidos urbanos.,» 7 Diciembre 2006. [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/normativa/provincial/ley-13592-123456789-0abc-defg-295-3100bvorpyel/actualizacion.

[129 Biodiesel HT, «Biodiesel HT,» [En línea]. Available: http://biodieselht.com/biodiesel_plantas.html. [Último acceso: 21 Marzo 2020].

[130 Dirección Ambiental de Gestión Ambiental - Partido de General Pueyrredón, «Informe Anual Ambiental,» Mar del Plata, 2012.

[131 Secretaría de Asuntos Municipales de la Nación, «Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos,» SAM, Buenos Aires, 2013.

[132 Senado de la Nación, «Ley Nº 25.916 Gestión integral de residuos domiciliarios,» 4 Agosto 2004. [En línea]. Available: http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/98327/norma.htm. [Último acceso: 22 Marzo 2020].

[133 Senado de la Nación, «Constitución Nacional. Reforma de 1994,» 15 Diciembre 1994. [En línea]. Available: http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/804/norma.htm. [Último acceso: 22 Marzo 2020].

[134 L. Schejtman y N. Irurita, «Diagnóstico sobre la gestión de los residuos sólidos urbanos en municipios de la Argentina,» CIPPEC, 2012.

[135 Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Libro de Consulta de Evaluación Ambiental. Volumen II: Lineamientos Sectoriales, Washington D.C.: Banco Mundial, 1991.

[136 ONU Medio Ambiente, «Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe,» Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Oficina para América Latina y el Caribe. , Ciudad de Panamá, 2018.

[137 Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, Guía ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a cielo abierto, Bogotá, 2002.

[138 CONAM/CEPIS/OPS, Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos, Lima, 2004.

[139 V. D'hers, «Asentamientos sobre basurales a cielo abierto. Explotación, segregación y expulsión en el manejo de los residuos,» *Desarrollo Local Sostenible,* vol. 6, nº 16, 2013.

[140 V. Torretta, N. Ferronato, I. Katsoyiannis, A. Tolkou y M. Airoldi, «Novel and Conventional Technologies for Landfill Leachates Treatment: A Review.,» *Sustainability,* vol. 9, nº 9, 2017.

[141 M. Jamilis, F. Garelli, H. de Battista y E. I. Volcke, «Operating conditions analysis for a partial nitritation process with biomass retention,» *IFAC-PapersOnLine,* vol. 52, 2019.

[142 M. Puricelli, «Actualización y análisis de las curvas intensidad - duración - frecuencia para la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina,» *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente,* nº 32, pp. 61-70, 17 Febrero 2014.

[143 H. Sontheimer, «Design Criteria and Process Schemes for GAC Filters,» *AWWA,* 1979.

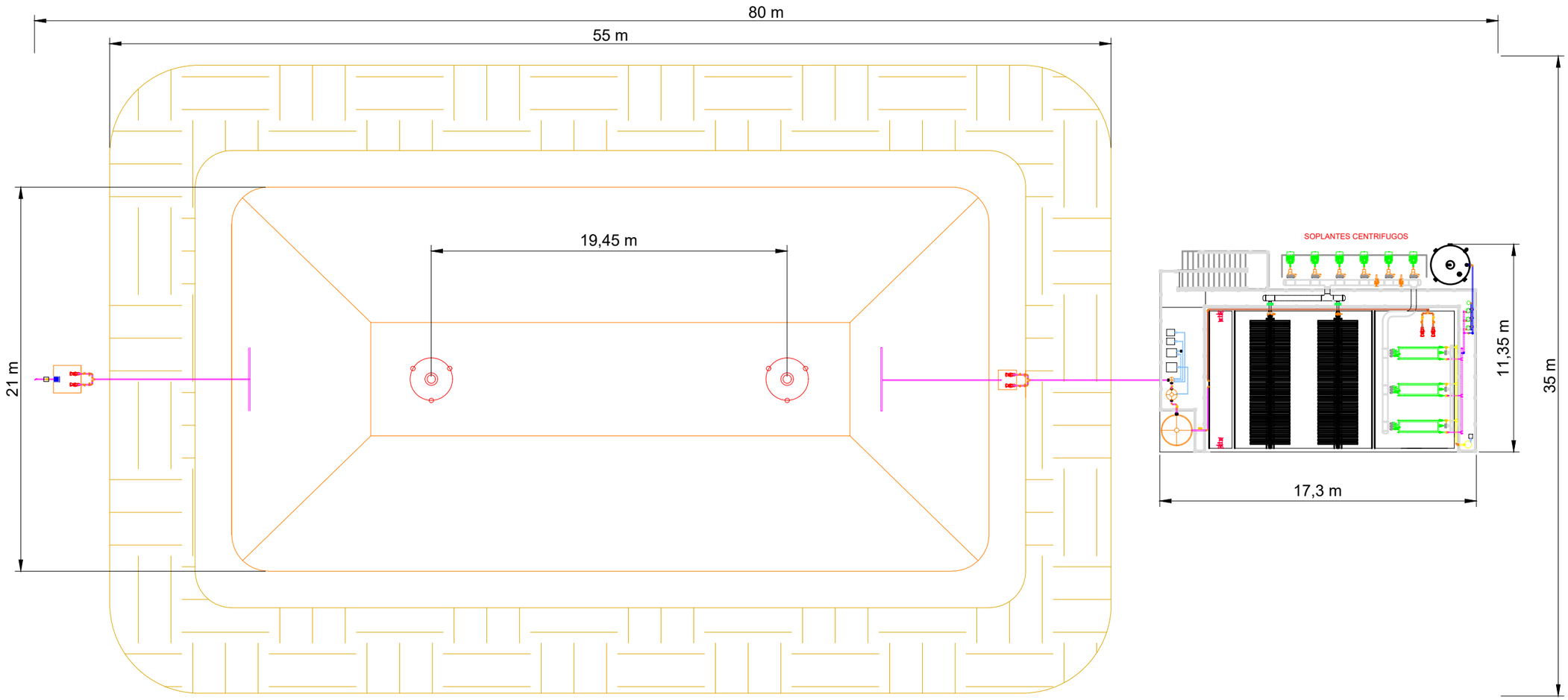
CAPÍTULO 11. Anexos

11.1. ANEXO I: PLANOS

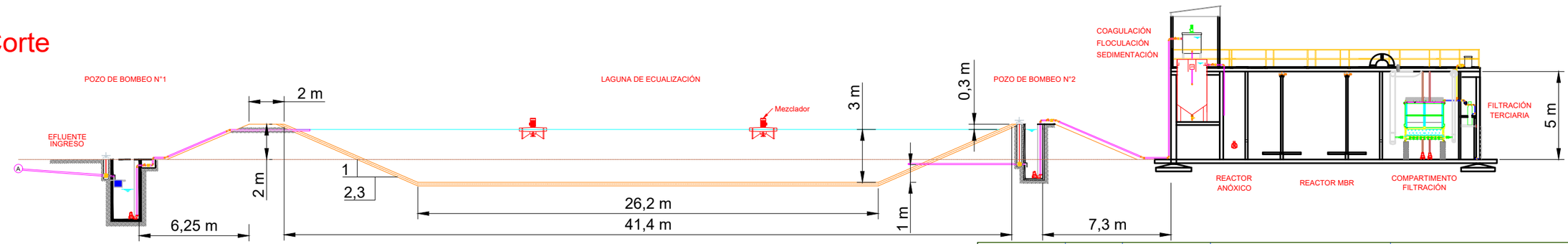
Se adjuntan los siguientes planos:

1. Implantación general.
2. Implantación en sitio de disposición final.
3. Detalle de pozos de bombeo.

Planta

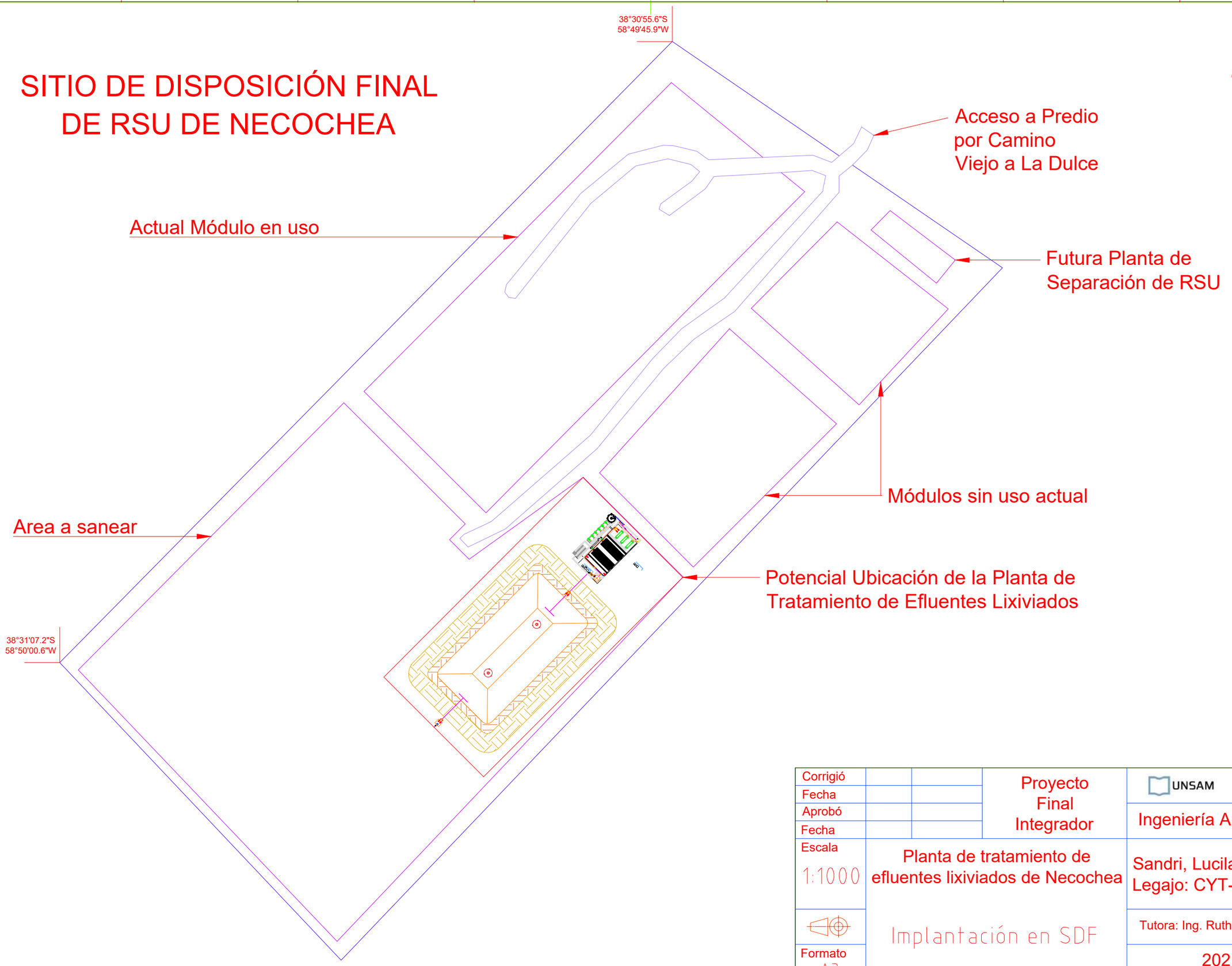


Corte



Corrigió			Proyecto Final Integrador	UNSAM / 3iA Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Fecha				Ingeniería Ambiental
Aprobó				
Fecha				
Escala 1:250	Planta de tratamiento de efluentes lixiviados de Necochea			Sandri, Lucila Mercedes Legajo: CYT-6774
	IMPLANTACIÓN			Tutora: Ing. Ruth Rodríguez
Formato A3				2021

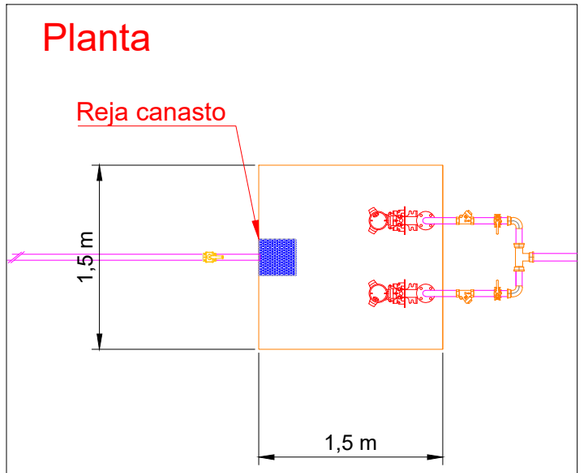
SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RSU DE NECOCHEA



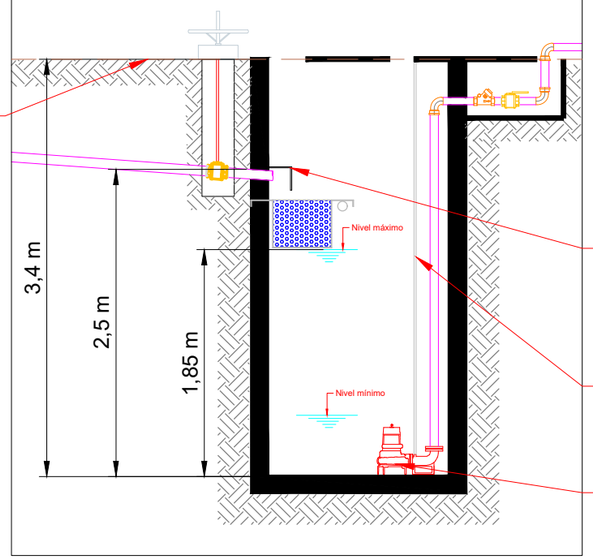
Corrigió			Proyecto Final Integrador	UNSAM · 3iA Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Fecha				
Aprobó				Ingeniería Ambiental
Fecha				
Escala 1:1000	Planta de tratamiento de efluentes lixiviados de Necochea			Sandri, Lucila Mercedes Legajo: CYT-6774
	Implantación en SDF			Tutora: Ing. Ruth Rodríguez
Formato A3				2021

POZO DE BOMBEO N°1

Planta

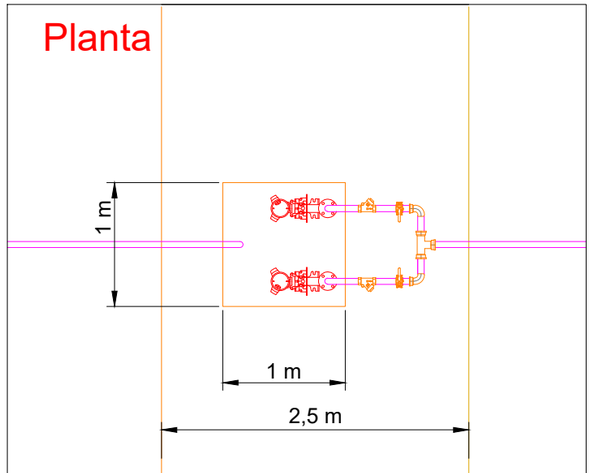


Corte

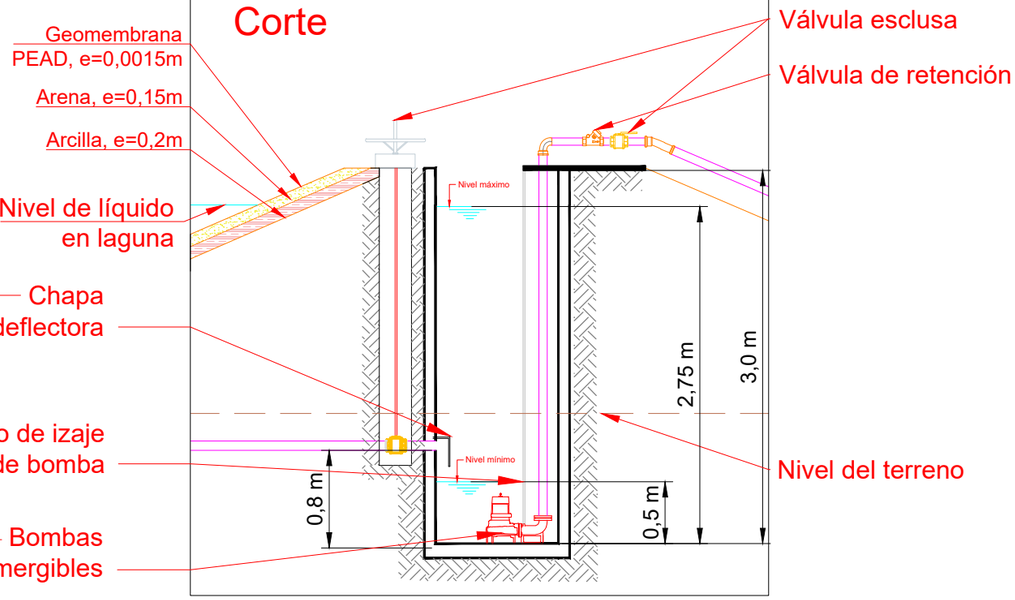


POZO DE BOMBEO N°2

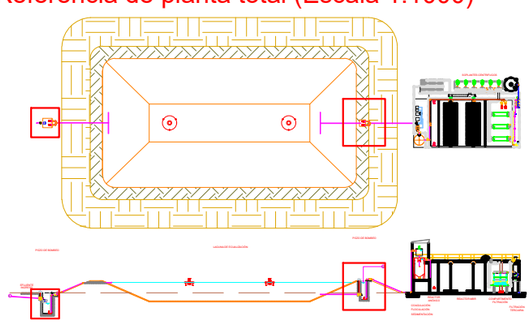
Planta



Corte



Referencia de planta total (Escala 1:1000)



Corrigió			Proyecto Final Integrador	UNSAM — 3iA Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental
Fecha				Ingeniería Ambiental
Aprobó				
Fecha				
Escala 1:50	Planta de tratamiento de efluentes lixiviados de Necochea			Sandri, Lucila Mercedes Legajo: CYT-6774
Formato A3	POZOS DE BOMBEO			Tutora: Ing. Ruth Rodríguez
				2021

11.2. ANEXO II: PRESUPUESTO

11.2.1. Fuente

A continuación se detallan los equipos solicitados a los diferentes proveedores contactados.

Soplantes Turbinas Regenerativas marca GREENCO.
Proveedor: Indutra
Canal de solicitud: correo electrónico

Filtro de admisión para turbinas.
Proveedor: Indutra
Canal de solicitud: correo electrónico

Accesorios para turbinas.
Proveedor: Indutra
Canal de solicitud: correo electrónico

Tolva de 6m3 PRFV
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 5m3 PRFV
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 500 litros PRFV
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 500 litros PEAD
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 300 litros PEAD
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 200 litros PEAD
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Presupuesto: Tanque de 100 litros PEAD
Proveedor: Rotoplas
Canal de solicitud: telefónica

Bombas marca Tsurumi, series NHC, NHU, B y PU.
Deshidratador marca Tsurumi, serie MDQ.
Módulo de membranas marca Kubota, serie ES.
Difusores marca SSI, serie AFT.
Aireadores marca AireO2, serie Antifouling.
Proveedor: Aeration Argentina

Filtro de carbón activado 1000 L/h.
Proveedor: Hidrocheck
Canal de solicitud: Tienda online en Mercado Libre

Honorarios de profesionales
Resolución COPIME Nº 30/15 (vigente a partir del 01/04/2015) [125].
Canal de solicitud: consulta online.

El Honorario Profesional Mínimo (HPM) se obtiene como resultado del producto del Valor Monetario (VM) por la cantidad de Unidades Profesionales Mínimas (UPM) asignadas a cada tarea profesional. VM x UPM= HPM

El costo de la obra civil y demás componentes fueron estimados a partir de presupuestos de obras y proyectos similares, en base a la experiencia laboral adquirida hasta la fecha.

11.2.2. Ejemplo de presupuesto

Int. Boers 1042/ 44 (Calle 83)
(B1650HTF) San Martin – Buenos Aires.
Tel/ Fax: (54-11) 4754-2464/ 4753-3435
info@indutra.com www.indutra.com

- PRESUPUESTO -

Presupuesto Nro. [redacted] Buenos Aires, 15/12/2020

[redacted]
Tel: [redacted]
Cel: [redacted]
Email: [redacted]

Atencion Sr. [redacted]
Referente: **Turbinas Regenerativas para soplado en plantas tratamiento efluentes**
Observaciones:
1) Sist. soplado #1 - Q = 725 m3/ h @ 475 mbar (compresor)
2) Sist. soplado #2 - Q = 60 m3/ h @ 475 mbar (compresor)
3) Accesorios recomendados para protección de la turbina
4) Datos técnicos adjuntos
(Especificaciones técnicas según email fecha 14/12/2020).-

Cant.	Descripcion	P. Unit. (u$s)	Total (u$s)
	Sist. Soplado (en paralelo) #1 Mod.2/3RB-550-2AAT67		
	Turbina regenerativa		
4	Turbina regenerativa marca GREENCO Mod.3RB-550-2AAT67 11,00 Kw. 3 x 220/ 380 V. 50 Hz. • Caudal (max) = 480 m3/ hora; ΔPmax = 610 mbar (aspirador); ΔPmax = 630 mbar (compresor) • ***Caudal turbinas en paralelo = 690 m3/hora@475mbar (compresor)*** • Motor trifasico blindado 100% norma MCE proteccion IP55 con acople directo al rotor (libre de mantenimiento) • Rotor y carcaza en fundicion de aluminio sin partes rozantes (funcionamiento silencioso y sin desgaste) • Silenciador incorporado en admision y descarga de aire	3.760,00	15.040,00
	Filtro de admision		
4	Filtro admision soplante Mod.FA-FC72/PE-300H • Base y tapa facilmente desmontable de acero inoxidable calidad 304 conexión rosca hembra 3" • Filtro cartucho tela poliester lavable Mod.FC72/PE (øExt. = 200 mm; øInt. = 104 mm; Alt. = 470 mm.)	185,00	740,00
4	Adaptador curvo a 90º para montaje vertical filtro de admision soplante • Brida acople a turbina regenerativa con prolongador curvo a 90º conexión rosca macho 3" de acero inoxidable calidad 304	86,00	344,00
	Accesorios		
4	Niple hierro galvanizado 3" con termostato tipo Klixon NC 90 °C	22,00	88,00
4	Manometro marca GASLI escala 0 a 1.000 mbar. caja de acero pintada con aro cromado para montaje en panel Diam. = 43 mm. (caja); salida posterior 1/8" con conector para tubo neumatico D.E. = 6 mm.	31,00	124,00

Hoja 1 de 2

Int. Boers 1042/ 44 (Calle 83)
(B1650HTF) San Martin – Buenos Aires.
Tel/ Fax: (54-11) 4754-2464/ 4753-3435
info@indutra.com www.indutra.com

Sist. Soplado #2 Mod.4RB-520-0AH76-8

Turbina regenerativa			
2	Turbina regenerativa marca GREENCO Mod.4RB-520-0AH76-8 2,20 Kw. 3 x 220/ 380 V. 50 Hz. • Caudal (max) = 120 m3/ hora; ΔPmax = 500 mbar (aspirador); • ΔPmax = 820 mbar (compresor) ***Caudal = 60 m3/ hora@475 mbar (compresor)*** • Motor trifasico blindado 100% norma MCE proteccion IP55 con acople directo al rotor (libre de mantenimiento) • Rotor y carcaza en fundicion de aluminio sin partes rozantes (funcionamiento silencioso y sin desgaste) • Silenciador incorporado en admision y descarga de aire	1.220,00	2.440,00
Filtro de admision			
2	Filtro admision soplante Mod.FA-F4000/PE-125H • Base y tapa facilmente desmontable de acero inoxidable calidad 304 conexión rosca hembra 1 ¼" • Filtro cartucho tela poliester lavable Mod.F4000/PE (øExt. = 153 mm; øInt. = 54 mm; Alt. = 110 mm.)	75,00	150,00
2	Adaptador curvo a 90º para montaje vertical filtro de admision soplante • Brida acople a turbina regenerativa con prolongador curvo a 90º conexión rosca macho 1 ¼" de acero inoxidable calidad 304	31,00	62,00
Accesorios/adicionales			
2	Niple hierro galvanizado 1 ¼" con termostato tipo Klixon NC 90 ºC	18,00	36,00
2	Manometro marca GASLI escala 0 a 1.000 mbar. caja de acero pintada con aro cromado para montaje en panel Diam. = 43 mm. (caja); salida posterior 1/8" con conector para tubo neumatico D.E. = 6 mm.	31,00	62,00

Subtotal Presupuesto: **u$s 19.086,00**

Nota: A estos precios debera adicionarse I.V.A. (21 %)

Nota: Precios netos para [redacted] validos para las condiciones de pago abajo estipuladas.-

Nota: Esta mercaderia sera facturada en dolares norteamericanos, y cancelada en pesos según cotizacion DÓLAR B.N.A. BILLETE tipo vendedor vigente al dia anterior de la fecha de efectivo pago.-

Nota: Entrega en puerta de nuestra fabrica sobre vuestro transporte.-

Condiciones de pago: **50% Orden de Compra con transferencia bancaria**
50% Contado acreditado en forma previa a la entrega

Plazo de entrega: **15 - 21 dias**

Validez de la oferta: **30 dias**

Saludamos a ustedes muy atentamente:

[redacted]
Ejecutivo Comercial.

Hoja 2 de 2

11.3. ANEXO III: Superficie de módulos del relleno sanitario

Tabla 172. Estimación de área requerida del relleno sanitario para la vida útil del proyecto, teniendo en cuenta una altura total de celdas de 6 m.

AÑO	RSU a disponer					Material de cobertura				Volumen de relleno		Superficie de relleno		
	Diaria	Anual	Acumulado	Diaria	Anual	Diaria	Anual	Diaria	Anual	Volumen Anual	Volumen Acumulado	Área Mínima Requerida (Acumulada)	Área Total (Acumulada)	Área Total (Acumulada)
	tn/día	tn/año	tn	m^3	m^3	m^3	m^3	tn	tn	m^3	m^3	m^2	m^2	Ha
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
2022	93,5	34123	34123	136	42654	13,6	4265	20,5	6398	46920	46920	7820	8602	0,86
2023	94,8	34594	68717	138	43242	13,8	4324	20,7	6486	47567	94486	15748	17322	1,73
2024	96,1	35067	103784	140	43833	14,0	4383	21,0	6575	48217	142703	23784	26162	2,62
2025	97,4	35542	139326	142	44427	14,2	4443	21,3	6664	48870	191573	31929	35122	3,51
2026	98,7	36019	175345	144	45024	14,4	4502	21,6	6754	49526	241099	40183	44202	4,42
2027	100,0	36499	211844	146	45623	14,6	4562	21,9	6843	50186	291285	48548	53402	5,34
2028	101,3	36980	248824	148	46225	14,8	4623	22,2	6934	50848	342133	57022	62724	6,27
2029	102,6	37464	286288	150	46830	15,0	4683	22,5	7025	51513	393646	65608	72168	7,22
2030	104,0	37950	324238	152	47438	15,2	4744	22,7	7116	52181	445828	74305	81735	8,17
2031	105,3	38438	362677	154	48048	15,4	4805	23,0	7207	52853	498680	83113	91425	9,14
2032	106,7	38929	401605	156	48661	15,6	4866	23,3	7299	53527	552207	92035	101238	10,12
2033	108,0	39421	441026	158	49276	15,8	4928	23,6	7391	54204	606411	101068	111175	11,12
2034	109,4	39915	480941	159	49894	15,9	4989	23,9	7484	54883	661294	110216	121237	12,12
2035	111,3	40630	521571	162	50787	16,2	5079	24,4	7618	55866	717160	119527	131479	13,15
2036	113,3	41355	562926	165	51693	16,5	5169	24,8	7754	56863	774023	129004	141904	14,19
2037	115,3	42089	605015	168	52611	16,8	5261	25,2	7892	57873	831895	138649	152514	15,25
2038	117,4	42834	647849	171	53542	17,1	5354	25,7	8031	58896	890792	148465	163312	16,33
2039	119,4	43589	691437	174	54486	17,4	5449	26,1	8173	59934	950726	158454	174300	17,43
2040	121,5	44354	735791	177	55442	17,7	5544	26,6	8316	60986	1011713	168619	185481	18,55
2041	123,6	45129	780920	180	56412	18,0	5641	27,0	8462	62053	1073766	178961	196857	19,69

Final del documento