



3iA

Instituto de Investigación
e Ingeniería Ambiental

Universidad Nacional de San Martín

Ingeniería ambiental

Proyecto Final Integrador

Remediación de un arroyo contaminado en la Provincia de
Buenos Aires.

Santiago María Baeck

Año 2022

Agradecimientos

A mi familia,

Por ser permanente compañía en mi vida, no me alcanza el corazón para agradecer lo recibido

A Dafí, mi compañera de vida,

Por ser empuje y apoyo incondicional en mi vida

A mis hermanos de la vida, Nico, Fran, Beno, Albert, Ale,

Por ser gran parte de gran parte de mi

A mi amigos de la facu, Lucas, Fer, Marian, Pablo, Nelson y Mariano

Por ser compañía durante toda la carrera

A Vera, mi tutora, por su guía en este proyecto

A todos los profesores y ayudantes de la carrera,
por su entrega y profesionalismo. Sin ustedes no habría nosotros.

Índice general

Introducción	12
Objetivos del proyecto	14
Objetivo General.....	14
Ubicación del arroyo y su subcuenca.....	14
Alcance del proyecto.....	15
Diagnóstico	15
Relevamiento	15
Calidad de agua del arroyo El Claro.....	15
Sedimentos.....	17
Fuentes de compuestos contaminantes a lo largo del arroyo.....	18
Aporte urbano.....	20
Aporte industrial.....	21
Aporte de los sedimentos.....	22
Receptores de la contaminación.....	23
Contaminantes.....	27
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	27
Cromo	28
Características principales	28
Formas del Cromo en la naturaleza	29
Efectos del Cromo sobre la salud.....	29
Efectos ambientales del Cromo	30
Cobre.....	31
Características principales	31

Efectos del Cobre sobre la salud.....	32
Efectos ambientales del Cobre.....	33
Plomo	34
Características generales.....	35
Fuentes de plomo.	35
Toxicología.	36
Plomo en el ambiente.....	37
Plomo en el agua.....	39
Plomo en sedimentos.	40
Normativa de regulación de los contaminantes a analizar.....	42
Normativa en agua superficial.	42
Normativa referente a la calidad de agua.	42
Normativa referente a los residuos peligrosos.	43
Normativa en sedimentos.....	44
Modelo Conceptual.....	45
Tratamientos de remediación de la calidad de agua y ecosistemas	46
Tratamientos para la remediación del agua	47
Adsorción con dolomita.....	48
Biosorción por microorganismos.....	49
Rizofiltración.	50
Humedales artificiales.....	51
Tratamientos para remediación del sedimento	61
Recubrimiento o “capping”.....	62
Enmienda o “Amendment”.....	64

Técnicas de remediación empleando nanomateriales.	64
Lavado (washing) y Lixiviado (leaching).....	66
Electrocinética.....	68
Proceso de selección de la planta de tratamiento.....	69
Comparación de los métodos de remediación	69
Selección del sistema de tratamiento secundario.....	74
Descripción de las variables para el tratamiento.....	76
Emplazamiento de la planta de tratamiento.	76
Caudal ingresante.....	77
Concentración de los contaminantes en el arroyo.....	78
Descripción del sistema de tratamiento	79
Caracterización del sistema de tratamiento.....	79
Caracterización de las partes del sistema.....	80
Memoria de cálculo de la planta de tratamiento.	100
Parámetros de diseño	100
Caudal de diseño.	100
Concentración de diseño.	100
Superficie.	100
Compuerta.....	102
Canal desviador.....	102
Pretratamiento.....	103
Ecuilizador.	104
Tratamiento primario.	106
Humedal.....	110
Diseño Hidráulico de la planta de remediación	115

Lixiviado.....	118
Operarios.....	119
Monitoreo.....	120
Análisis Económico para la planta de tratamiento.....	122
Estudio de Impacto ambiental.....	125
Introducción.....	125
Objetivos.....	125
Alcance.....	126
Metodología del estudio.....	126
Preparación del Estudio.....	127
Marco Legal.....	127
Normativa Nacional.....	127
Normativa provincial.....	129
Autoridades de aplicación nacionales y provinciales.....	129
Medio Ambiente Físico.....	130
Recursos Hídricos.....	130
Medio ambiente socioeconómico y de infraestructura.....	136
Usos y ocupaciones del suelo.....	137
Infraestructura de servicios.....	139
Descripción del proyecto.....	143
Introducción y Objeto.....	143
Operación.....	146
Cierre de planta.....	148
Identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.....	149

Programa de monitoreo ambiental	159
Plan de gestión ambiental	161
Objetivos y metas ambientales.....	161
A.- generales	161
B.- medio ambiente.....	161
Programa de Monitoreo del Sistema de Gestión Ambiental.....	162
Manual de Gestión Ambiental	163
Discusión y Conclusiones	168
Bibliografía	172
ANEXOS	184

Indice de Figuras

Figura	Pág.
1 Delimitación del arroyo El Claro (azul) y los partidos asociados al mismo. De izquierda a derecha, en color rojo, partidos de José C. Paz, Malvinas Argentinas, Pilar, Escobar y Tigre.	15
2 Localización del Basural a Cielo Abierto (polígono en rojo), dentro del predio La Juanita	21
3 Localización del Área de Promoción El Triángulo (polígono en rojo), dentro del partido Malvinas Argentinas	22
4 Hogares con NBI por unidad de superficie por radio censal, en el arroyo El Claro. (Gómez, 2010)	24
5 Formas de abastecimiento de agua, para la población del municipio Malvinas Argentinas cercana al arroyo El Claro (González, 2010).	25
6 Esquema de movilidad del plomo (Poma, 2008).	38
7 Modelo conceptual del arroyo El Claro	45
8 Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal.	52
9 Mecanismos generales para la eliminación de contaminantes en humedales artificiales.	53
10 Esquema de los procesos que tratan a compuestos contaminantes del agua	54
11 Humedal construido de flujo subsuperficial vertical	59
12 Dibujo esquemático del carrizo (<i>Phragmites australis</i>).	60
13 Modelo del capping con biocarbón (“biochar”) y otros materiales. Adaptado de Wang (2018).	63
14 Ciclo del humedal, desde el plantado hasta el retiro de sedimentos.	76
15 Área dispuesta para la planta de tratamiento (en blanco). En azul, el arroyo El Claro	77
16 Caudal horario del arroyo	78
17 Modelo del cauce del arroyo (arroyo entubado) y el diseño de compuertas con sistema de leva.	81
17a Modelo del cauce del arroyo (arroyo entubado) y el diseño de compuertas con sistema de leva.	81
17b Compuerta de chapa galvanizada con detalle del encastre en el canalizado	81
17c Vista frontal interna del sistema de izaje.	82
18 Posición de las mismas y la entrada a la planta de tratamiento (hacia la derecha). Se puede observar también el bypass ante volúmenes altos, que va desde las rejas hacia aguas debajo de la compuerta del arroyo.	83
19 Vista lateral de la compuerta y sus partes	84
20 Rejas como desbaste de planta de tratamiento.	86
21 Ecuador en vista superior y lateral.	88
22 Esquema del Desarenador	89
23 Modelo de flujo del efluente según el diseño de entrada del humedal.	91
24 Modelo de un humedal artificial. Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (2007)	91
25 Vista lateral del humedal con el perfil de suelos: grava media, gravilla y arena al fondo	92
26 Explicación del flujo igualitario para todo el lateral	92
27 Vista superior del humedal, con distinción de las plantas del mismo.	93
28 Colocación de geomembrana en un humedal.	94
29 Retrato de <i>Impatiens sultanii</i> , planta a utilizar en el humedal.	95

30	Fotografía de Lolium perenne, planta a utilizar en el humedal.	96
31	Todos los flujos alternativos al normal por el que podrá pasar el efluente	98
32	Superficie a utilizar en la planta de tratamiento de efluentes del Claro, marcado en blanco, y los distintos tratamientos en distinto color.	100
33	Características de la compuerta	101
34	Dimensiones del canal desviador, en metros	101
35	Cálculo de la pérdida de carga en las rejillas	103
36	Variación de caudal durante el año	104
37	La velocidad de escurrimiento (VL en la figura) es razón del caudal y el área seccional.	106
38	Detalle del ensanchamiento de cañería para lograr la agitación necesaria para la coagulación, en vista superior -arriba- y lateral -abajo	108
39	Corte longitudinal del humedal donde se ve la disposición de las gravas y las plantas	114
40	Vista lateral del cajón de Lixiviados	117
41	Vista superior del cajón de Lixiviados	118
42	Vista superior de la planta de tratamiento	120

Índice de Tablas

	Tabla	Pag.
I	Puntos de muestreo y resultados (fuente: estudio de Colegio de Abogados)	19
II	Límites permitidos en la normativa de la calidad de agua	43
III	Relevantes niveles guía de contaminantes en el Decreto Nacional N°831/1993	44
IV	Regulaciones internacionales de contaminantes en sedimentos	44
V	Tratamiento de contaminantes varios en el humedal de aguas residuales	54
VI	Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación	72
VII	Puntuación de los métodos de remediación según características del modelo	73
VIII	Concentraciones en los distintos puntos de muestreo	79
XIX	Concentraciones reales y las que serán utilizadas para el diseño del humedal (Elaboración propia)	99
XX	Parámetros iniciales para la construcción de las rejillas.	102
XXI	Datos para la pérdida de carga del fluido	103
XXII	Cargas superficiales normales de distintos sistemas de tratamiento	107
XXIII	Concentración final de cada compuesto de interés con agregado de coagulante (Sulfato de Aluminio)	108
XXIV	Concentración final de cada compuesto de interés con agregado de coagulante (Sulfato de Aluminio)	109
XXV	Constante de degradación de primer grado (K_a) y concentración de salida, según primera alternativa (sin coagulante)	111
XXVI	Constante de degradación de primer grado (K_a) y concentración de salida, según segunda alternativa (con coagulante)	111
XXVII	Comparación de la concentración final del tratamiento sin operación terciaria con la normativa vigente	111
XXVIII	Porosidad y conductividad hidráulica para distintos tipos de sustrato utilizados en humedales (Fuente: Reed, S.C., Crites, R.W. y Middlebrooks, E.J. (1995))	112
XXIX	Cálculo de pérdidas de carga por fricción	116
XXX	Cantidad de operarios por sector dentro de la planta	119
XXXI	Descripción de los monitoreos internos y externos a realizarse	119
XXXII	Costo inicial	121
XXXIII	Costo operativo	122
XXXIV	DBO ₅ y Oxígeno consumido comparados a lo largo del curso	129
XXXV	Datos del partido de Tigre	138
XXXVI	Comparado de índice NBI	139
	Matriz de Impacto Ambiental - Medio Ambiente Socioeconómico	151
	Matriz de Impacto Ambiental - Medio Ambiente Físico	152
	Matriz de Impacto Ambiental - Medio Ambiente Biológico	153

Introducción

El Claro es un arroyo localizado en la zona noroeste del conurbano bonaerense, con nacimiento en el partido de José C. Paz, y desembocadura en el río Luján. Diferentes trabajos han reportado valores altos de varios contaminantes, en particular de plomo, que superan lo establecido por la normativa vigente en las aguas de dicho arroyo. Unido a esto, en barrios carenciados de San Fernando asentados a la vera del arroyo, se han identificado núcleos de personas con distintos tipos de cáncer. Los vecinos alegan que el agua contaminada es el causante de esta enfermedad, según estudios médicos realizados en los hospitales públicos. Dado que se bañan en el arroyo cuando las aguas y juegan a la vera del cauce, es muy probable que el factor ambiental mas relevante (un arroyo contaminado) sea el causante de los núcleos de enfermedad en estos asentamientos. En este marco, el presente proyecto final integrador busca alternativas, procedimientos y métodos para remediar el arroyo El Claro mediante la caracterización de la zona de estudio, la búsqueda de tratamientos de remediación de la calidad de agua y ecosistemas, el estudio de impacto ambiental de la planta de remediación, sus requerimientos, memoria de cálculo y puesta en marcha.

Diversos estudios han reportado concentraciones altas de Plomo, Cromo, Cobre, Fósforo y DBO, las cuales superan significativamente los niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática de agua dulce superficial, establecidos por el Decreto reglamentario N° 831/1993 de la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos. A su vez, también superan los valores de calidad de agua establecidos por la Res. N°46/2017 de ACUMAR, para los usos I.a (“apta para protección de biota y uso recreativo con contacto directo”) y I.b “(apta para protección de biota). Se utilizan los parámetros normados por ACUMAR debido a que la entidad es una referencia bonaerense para cuerpos de agua contaminados y también porque la cuenca a la cual El Claro pertenece, el CoMiLu (comité de cuenca del Río Luján), no presenta normativa al respecto.

Considerando lo anterior, el emplazamiento de residencias cercanas al curso bajo del arroyo El Claro representa un riesgo para la salud de sus habitantes, puesto que se hallan expuestos a altas concentraciones de estos contaminantes que superan las reglamentadas, y que provienen de fuentes localizadas aguas arriba. Sumado a esto, trabajos de los años 1999 y 2004 identificaron que la población en el área cercana a los arroyos El Claro y Darragueira se veía afectada directamente por las inundaciones y anegamientos producidos luego de eventos de fuertes tormentas (Gómez, 2016). En consecuencia, las inundaciones se presentan como un agravante de la problemática, puesto que aumentan el nivel de exposición de la población.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, resulta necesario contar con un tratamiento que permita reducir el impacto de los compuestos negativos presentes en el arroyo, a fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes, así como también remediar los daños causados sobre la flora, fauna y procesos naturales dentro del área de influencia.

Este Proyecto Final Integrador fue pensado para llevar a cabo una planta que trate estas aguas, yendo desde lo macro y pasando por evaluaciones preliminares para encontrar la mejor alternativa que resuelva cada problema expuesto.

Objetivos del proyecto

Objetivo General.

El proyecto propuesto tiene por objetivo general la remediación del Arroyo El Claro mediante el uso de técnicas y procesos ambientales, de modo de garantizar la calidad de agua a fin de que la población aguas abajo pueda gozar del agua de su cauce. Esta remediación será para todos los contaminantes relevados con alta concentración en sus aguas (DBO, DQO, Fósforo, Plomo, Cobre y Cromo) enfocándose ligeramente en el Plomo, contaminante de suma importancia en la zona estudiada y de mucha sensibilidad para los vecinos, cuyo pensamiento general es que el único problema del arroyo es “el Plomo y el olor”.

Ubicación del arroyo y su subcuenca

Para poder abordar la problemática del arroyo El Claro, se debe entender el sistema como la unión de elementos bióticos y abióticos, interrelacionados por un conjunto de procesos físicos, químicos, biológicos, ecológicos y antrópicos. Se trata entonces de un ecosistema dinámico, que no puede ser considerado simplemente como la suma de sus partes, sino como la interacción resultante entre ellas.

Con una superficie aproximada de 4.000 ha, la subcuenca del arroyo El Claro se ubica sobre la zona noroeste del conurbano bonaerense, dentro de la cuenca del río Luján. Desde su nacimiento en el partido de José C. Paz, el arroyo El Claro recorre 19 km, atraviesa dos partidos (Malvinas Argentinas y Tigre), y desemboca finalmente en el Luján (figura 1). A lo largo de su trayectoria, recibe el aporte de arroyos como Cuzco y Albuera. Cerca de 4,2 km de su curso se encuentran entubados, y su tramo inferior se encuentra totalmente rectificado (Colegio de Abogados de San Isidro, 2019).

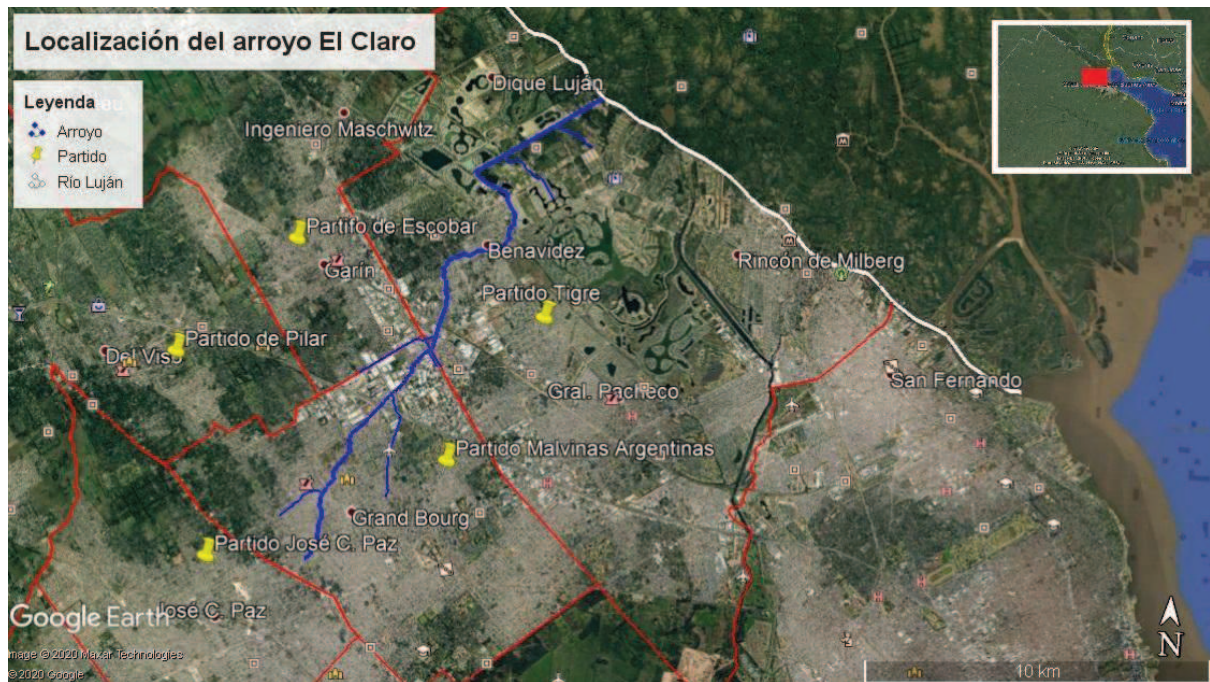


Figura 1. Delimitación del arroyo El Claro (azul) y los partidos asociados al mismo. De izquierda a derecha, en color rojo, partidos de José C. Paz, Malvinas Argentinas, Pilar, Escobar y Tigre.

Alcance del proyecto

Debido a las características del arroyo, que las acciones aguas arriba impactan en la parte baja, el alcance de este estudio incluye todo el arroyo El Claro y a todos los seres vivos que interactúan con su cuenca.

Diagnóstico

Relevamiento

Calidad de agua del arroyo El Claro.

El agua es un recurso esencial para el desarrollo y sostenimiento de la vida en el planeta: integra parte de los ecosistemas, constituye un factor indispensable para el desarrollo de reacciones y procesos biológicos, y actúa como medio para el intercambio de energía (mediante el ciclo hidrológico). En un contexto urbano, los ríos no sólo constituyen una importante reserva de agua dulce, sino que representan un espacio de esparcimiento y un sitio para el desempeño de diversas actividades antrópicas.

La degradación de la calidad de agua en los ríos impacta directamente sobre la calidad de vida de los organismos vinculados con dicho ecosistema. Al día de la fecha, diferentes autores han manifestado que los arroyos en el partido Malvinas Argentinas (incluyendo al arroyo El Claro), se encuentran afectados por la descarga de efluentes domiciliarios e industriales, la presencia de basurales a cielo abierto, y la falta de mantenimiento de las perforaciones domiciliarias y pozos sépticos (Barrionuevo, 2013). Entre otros, se menciona:

- Un informe elaborado por la Universidad Nacional de General Sarmiento (2016), acerca del riesgo hídrico poblacional en relación a las inundaciones y la calidad del agua superficial de la cuenca del arroyo El Claro, en el Municipio de Malvinas Argentinas. Dicho trabajo concluyó que el arroyo El Claro presenta un severo estado de contaminación, caracterizado por:
 - Concentraciones de nitratos, nitrógeno amoniacal y fósforo elevadas, en las estaciones ubicadas tanto en las zonas residenciales como en la industrial.
 - Elevadas concentraciones de DQO, nitratos, y conductividad, provocados por vertidos de origen desconocido en la zona industrial.
 - Fuerte contaminación de origen fecal en el arroyo.
- Un informe elaborado por el Colegio de Abogados de San Isidro (2019), donde se presentó un estudio de la calidad de las aguas del arroyo El Claro, a lo largo de su curso más bajo. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores límite de la resolución 46/17 de ACUMAR (Uso II. Apta para actividades recreativas con contacto directo). En dicho estudio, se obtuvo:
 - Valores de Oxígeno Disuelto por debajo del valor de referencia ($OD < 5 \text{ mg.L}^{-1}$, según Rs. 46/17).
 - Niveles de Fósforo por encima del valor de referencia ($P > 1 \text{ mg.L}^{-1}$, según Rs. 46/17).
 - Elevadas concentraciones de DBO ($DBO > 10 \text{ mg.L}^{-1}$, según Rs. 46/17).
 - Niveles de DQO asemejables a un efluente de características industriales ($DQO 1000 - 3000 \text{ mg.L}^{-1}$).
 - Valores excesivos de Hidrocarburos totales ($\text{Hidrocarburos totales} > 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, según Rs. 46/17).
 - Presencia de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos, incluyendo Plomo, Cromo, Cadmio, Cobre, Zinc, y Mercurio. En particular, se detectaron concentraciones entre $1,5 - 6,5 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ para el plomo, $3,3 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ para Cadmio y

7,4 para Cobre excediendo en todos los casos los niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática marcados por el Dec. 831 ($1 \mu\text{g.L}^{-1}$).

- Un estudio realizado por O'Farrell et al (2002), donde se evaluó la calidad del agua en la cuenca baja del Río Luján. El trabajo realizó una caracterización fisicoquímica de las aguas del Río Luján y sus tributarios, incluyendo al arroyo El Claro. Entre otros resultados, se detectaron concentraciones elevadas de diferentes metales dentro de las aguas del arroyo El Claro, incluyendo al cromo, cobre, cadmio y plomo. Particularmente, se obtuvo una concentración de $10,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ para el plomo, excediendo el nivel guía de calidad de agua para protección de vida acuática marcado por el Dec. 831.
- Diversos artículos periodísticos, que evidencian la presencia de residuos sólidos urbanos, la turbidez, el mal olor y el mal aspecto en general, a lo largo de las aguas del arroyo El Claro (Lipcovich, 2006; Barbieri, 2010; Bello, 2017; entre otros).

Las consecuencias para la salud y bienestar de los ecosistemas, resultantes de la exposición al plomo inorgánico y orgánico, son conocidas desde hace mucho tiempo, por lo que su remoción es fundamental (García, 2003). Sin embargo, son diversos los parámetros identificados que se vinculan con la degradación de las aguas del arroyo El Claro, por lo que las aguas del arroyo se presentan como una compleja matriz mas que compuestos separados entre sí. De esta forma, a la hora de seleccionar una técnica de remediación, deben tenerse en cuenta las interacciones entre las sustancias presentes, puesto que pueden modificar la efectividad de los diferentes sistemas abordados por el presente informe.

Sedimentos.

Muchas de las sustancias que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidas en el material particulado, y son transportadas desde la columna de agua hacia el fondo. De esta forma, los sedimentos funcionan como sumidero para diversos contaminantes (Peluso, 2011). En el caso particular de los metales pesados, su afinidad por los sedimentos guarda una estrecha relación con el estado de oxidación del metal, y con las características fisicoquímicas del medio, como el pH, el potencial redox, el tamaño de las partículas constituyentes (limo, arcilla y arena), y el porcentaje de materia orgánica (Peluso, 2011). En línea con lo anterior, las condiciones de bajo potencial redox en el arroyo El Claro (es decir, medio reductor con bajo oxígeno disuelto y alta DBO) ocasionan que la mayoría de

los metales pesados precipiten como sulfuros e hidróxidos de baja solubilidad, o bien resulten adsorbidos sobre diferentes componentes del sedimento (Porzionato, 2016).

De acuerdo al trabajo realizado por Peluso (2011), las concentraciones en el lecho del arroyo pueden ser entre 3-6 órdenes de magnitud mayores que las correspondientes a la columna de agua del sitio. Cabe remarcar que la concentración del plomo en solución no representa la fracción real del metal, siendo que la mayor proporción se encuentra en los sedimentos y en el material particulado coloidal (Porzionato, 2016). Dependiendo de las características del entorno, los sedimentos pueden actuar como fuente emisora:

- Al ingresar un nuevo volumen de agua al sistema, los contaminantes pueden desprenderse desde la fase sólida a la líquida, impulsado por el gradiente químico entre dichas fases.
- Cuando ocurren variaciones en las condiciones redox ambientales (por ejemplo, producidas por dragado, lluvia, inundación o sequía), componentes reducidos del sedimento (como sulfuros) tienden a ser oxidados, debido a procesos abióticos (relacionados a óxidos metálicos) y a procesos catalizados por bacterias. Como consecuencia, puede darse la acidificación del sedimento y posterior liberación de metales pesados en la columna de agua (Porzionato, 2016).

Resulta evidente que el agua superficial y los sedimentos se encuentran interconectados: el manejo que se realice en uno de ellos afecta directamente sobre el otro. Por esta razón, se recomienda firmemente que los muestreos y la determinación de contaminantes en agua se complementen con los respectivos muestreos en sedimentos, para conseguir una visión integral de la contaminación en el sistema de estudio, atendiendo fundamentalmente a los procesos que ocurren.

Fuentes de compuestos contaminantes a lo largo del arroyo.

Si bien los trabajos del Colegio de Abogados (2019), Gómez (2016), y O'Farrell et al (2002), registraron elevados valores de compuestos contaminantes en la matriz acuosa del arroyo El Claro, no se han hallado estudios que determinen con certeza el origen de los mismos. En la presente sección, se presenta una indagación acerca de las plausibles fuentes de contaminación sobre las aguas y sedimentos del mencionado arroyo. En la tabla I se muestra un análisis de aguas realizado por el Colegio de Abogados, junto con normativa de comparación. Se

resaltaron en rojo las mediciones que se encuentran en infracción con respecto a los parámetros legales.

Como puede verse, el Plomo, Cobre, Cromo, Fósforo y DBO (resaltados en celeste) es mayor que lo estipulado en la Tabla II del Anexo II del Decreto Reglamentario 831/93 de la Ley 24051 y del uso Ia del Anexo III de la Res 46/2017 de Acumar en todos los puestos de medición, aumentando y disminuyendo, lo que evidencia que hay más de una fuente de este componente. Estos compuestos resaltan por encima de los demás primeramente por su importancia a nivel sanitario, por su necesidad de gestión en las aguas superficiales y por su constancia en el arroyo.

Tabla I. Puntos de muestreo y resultados (fuente: estudio de Colegio de Abogados)

Parámetro	Metodología Aplicada	Unidad	LD	LC	Muestras						Ley 24051 Decreto 831/93 Tabla II. Niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática.	Resolución ACUMAR 46/2017 ANEXO III. USO I a: Apta para protección de biota y uso recreativo con contacto directo
					M1	M2	M3	M4	M5	M6		
pH	SM4500HB	UpH	1	1	6,9	5,7	5,6	5,5	6,8	7,3	-	6,5 - 9
Conductividad	SM2510B	uS/cm	100	200	1206	2880	957	1626	1594	1899	-	-
Temperatura	SM1060	°C	0,1	0,5	20,8	20,5	19,0	20,2	21,4	19,2	-	<35
Oxígeno Disuelto	SM4500OB	mg/L	0,1	0,5	5,3	0,8	2,7	1,5	1,4	1,4	-	>5
CROMO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	1,1	21,7	2,6	3,3	2,1	2,1	2	<2
CADMIO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	0,3	0,9	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	<0,25
PLOMO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	1,5	35,7	6,5	6,3	2,1	2,1	1	<2
NÍQUEL	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	2,0	8,6	1,6	11,7	10	9,6	25	<25
ARSÉNICO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	14,1	14,8	9,5	13	14,1	11,6	50	<50
COBRE	EPA 6020 B	ug/L	0,5	1	9,0	43,7	3,7	9,4	15,1	3,6	2	<9
ZINC	EPA 6020 B	ug/L	0,5	1	22,6	57	26,8	25,2	29,4	23,2	30	<120
HIERRO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	51,9	1650	2090	264	218	203	-	-
MERCURIO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	0,7	0,9	0,3	0,6	0,3	0,3	1	<0,77
ESTAÑO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	1	2	0,5	1,7	1	0,7	-	-
FÓSFORO TOTAL	EPA 6020 B	mg/L	0,05	0,1	2,3	32,3	15	10	4,9	5,1	-	<10
DBO	SM 5510	mg/L	10	30	284	641	261	271	310	281	-	<5
DQO	SM 5520	mg/L	5	20	921	3265	855	909	1050	997	-	-
CLORUROS	SM4500CIB	mg/L	3	10	103	197	111	116	121	202	-	-
DUREZA TOTAL	SM2320C	mg/L	1	5	249	846	114	314	249	289	-	-
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SM2510B	mg/L	50	100	869,4	1855,0	718,9	980	970,2	1334,2	-	-
SSEE (Aceites y Grasas)	SM5520B	mg/L	3	10	15	52	14	18	10	12	-	-
Hidrocarburos Totales	SM5520F	mg/L	0,5	1	11	29	10	13	9	8	-	<50
Sustancias fenólicas	SM5530C	mg/L	0,5	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-	<4
BENCENO	EPA 8260 D	ug/L	3	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-
TOLUENO	EPA 8260 D	ug/L	3	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-
ETILBENCENO	EPA 8260 D	ug/L	3	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-
XILENOS	EPA 8260 D	ug/L	3	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	-

Aporte urbano.

Una de las problemáticas más relevantes aparejadas a la urbanización, en relación con la presencia de contaminantes en el arroyo, es la gran producción de residuos (tanto sólidos como líquidos): ante eventos de precipitación o inundaciones, el agua escurre hacia los sistemas de captación pluviales, arrastrando consigo aquellos desechos que se encuentren en la vía pública, y potencialmente transportando residuos con contaminantes en estudio hasta el arroyo.

En su cuenca alta y media, el arroyo El Claro atraviesa zonas urbanas altamente pobladas. Particularmente, el arroyo atraviesa un predio denominado “La Juanita”, durante su paso por el partido Malvinas Argentinas, localidad de Grand Bourg. Con más de 100 hectáreas, el campo presenta dos zonas bien diferenciadas:

- La zona ubicada entre el arroyo El Claro y la calle El Callao: Se encuentra habitada por la encargada del predio (Lilian Placé, hija de la señora “Juanita”), y suele utilizarse como sitio de esparcimiento (Vía Malvinas Argentinas, 2020).
- La zona ubicada entre el arroyo El Claro y las calles Patricias Mendocinas y Fray Bolaños: Se observa una gran cantidad de residuos de todo tipo, incluyendo basura domiciliaria en su mayoría (botellas, bolsas de nylon, restos de comidas, aceites, papeles, cartones, cerámicas, etc.), residuos comerciales (plásticos, bolsas de nylon, PVC, retazos de telas, goma espuma, pilas), residuos electrónicos, escombros de construcción, residuos patógenos, animales muertos y ramas. Sumado a esto, hay una quema constante de basura en el centro del predio (Alsina, 2004).

Según una nota publicada por Vía Malvinas Argentinas (2020), el basural recibe entre 20 y 30 camiones todos los días, los cuales arrojan residuos de todo tipo. Con el programa Google Earth fue posible estimar la dimensión aproximada del basural (21 ha) (figura 3).

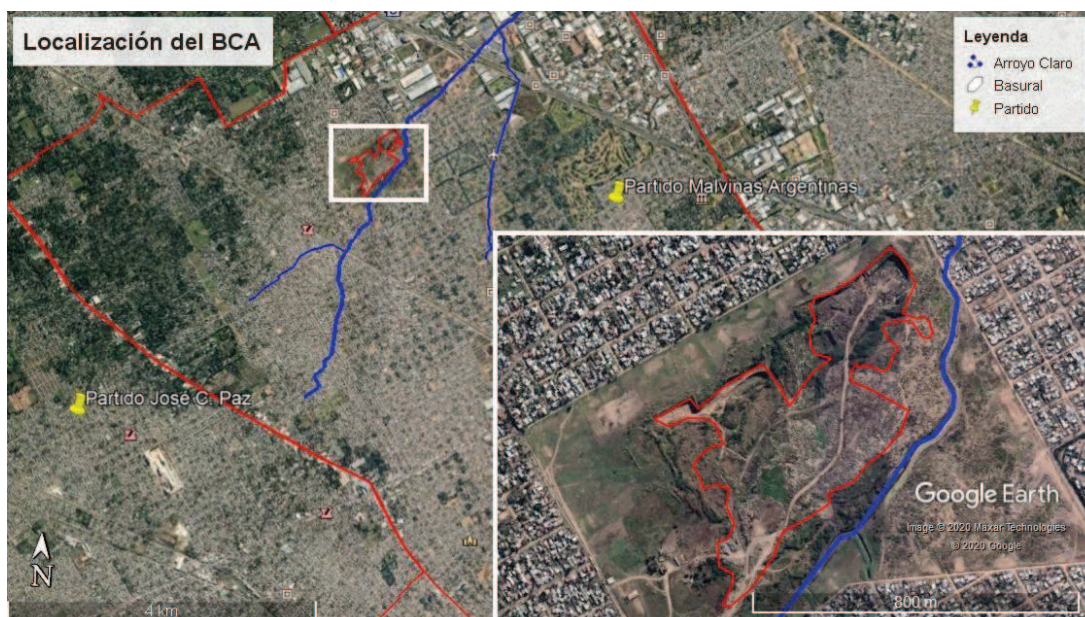


Figura 2. Localización del Basural a Cielo Abierto (polígono en rojo), dentro del predio La Juanita.

A partir de la disposición de los residuos sin control, una amplia gama de sustancias tóxicas puede ser liberada al ambiente. En particular, baterías de autos, residuos electrónicos, y pigmentos en cerámicas y plásticos, son potenciales fuentes de Plomo, Cromo y Cobre (Jang, 2003; Korzun, 1990) mientras que restos orgánicos son fuentes de contaminación por microorganismos. Los metales pesados pueden concentrarse en los líquidos lixiviados y escurrir hasta las aguas subterráneas y/o superficiales del arroyo, o bien puede ser liberado a la atmósfera (mayormente por la quema de plásticos o desechos metálicos) y depositarse sobre la superficie del arroyo El Claro (Mavropoulos, 2015).

Aporte industrial.

A lo largo de su trayectoria, es posible encontrar diversos establecimientos industriales radicados en las cercanías del arroyo El Claro. En línea con lo anterior, merece especial atención la denominada Área de Promoción El Triángulo (Figura 3), donde se concentran una gran cantidad de establecimientos (Colegio de Abogados de San Isidro, 2019).

Las industrias en la zona cuentan con una alta heterogeneidad en lo que respecta a las materias primas e insumos que se utilizan, como también productos intermedios y residuos generados (Colegio de Abogados de San Isidro, 2019). A grandes rasgos, las actividades predominantes de las industrias ubicadas dentro de El Triángulo, corresponden a la metalúrgica, química, construcción y depósitos de mercadería. Por otra parte, aquellas que se encuentran dispersas en

las zonas residenciales, realizan actividades de carpintería, venta de artículos de zinguería o elaboración de productos alimenticios (Gómez, 2016).

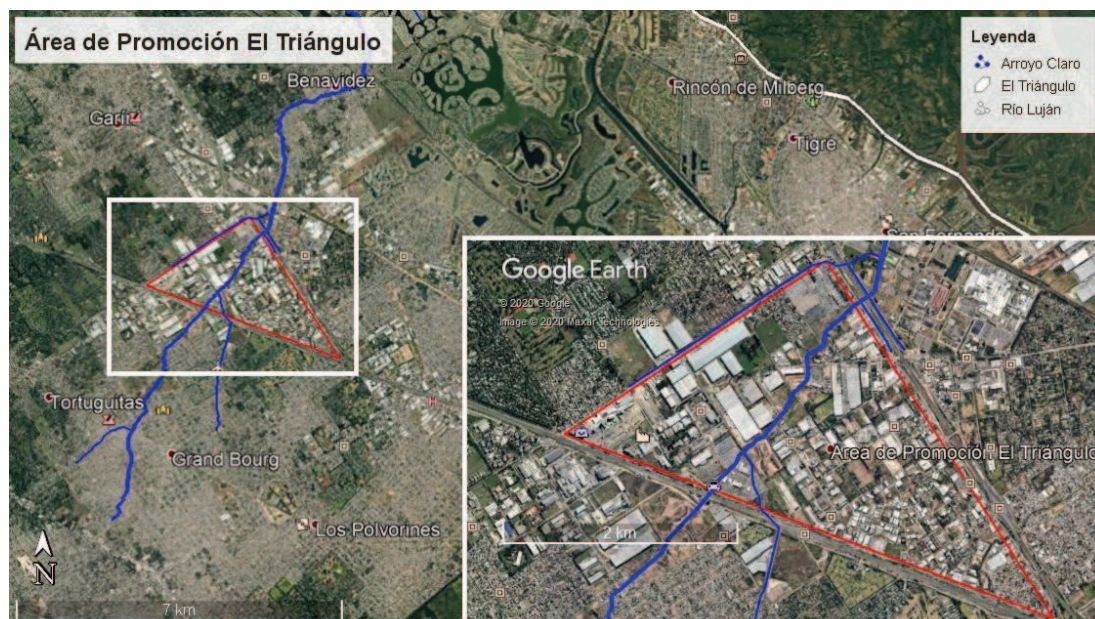


Figura 3. Localización del Área de Promoción El Triángulo (polígono en rojo), dentro del partido Malvinas Argentinas.

Como resultado de sus procesos productivos, las industrias generan desechos sólidos, líquidos y/o gaseosos. Los productos tóxicos presentes son muy variados, tanto en tipo como en cantidad, y su composición depende de la clase de actividad que los genera. En particular, los efluentes y desechos sólidos generados por las fábricas de pinturas, y de actividades relacionadas con la industria automotriz, pueden contaminar el arroyo si no cuentan con un tratamiento adecuado.

Aporte de los sedimentos.

Tal como se mencionó anteriormente, los sedimentos pueden actuar como reservorio y como fuente emisora de metales. Más aún, a diferencia de los cuerpos de agua, los sedimentos pueden ser sumideros de concentraciones de metales provenientes de eventos de contaminación pasados. Por este motivo, a partir de la detección de metales registrada por el Colegio de Abogados de San Isidro (2019), puede sospecharse que la concentración en los sedimentos puede ser significativamente mayor que la del líquido. De ser así, se introduce la posibilidad de que los actuales efluentes industriales hayan modificado las condiciones fisicoquímicas y fomentado la removilización de metales en las aguas del arroyo El Claro.

Receptores de la contaminación.

A continuación, se describe la trama de actores potencialmente afectados por la presencia de aguas contaminadas en el arroyo El Claro.

Población aledaña.

El arroyo El Claro atraviesa los partidos de Malvinas Argentinas y Tigre, los cuales cuentan con una población aproximada de 700.000 habitantes, y una densidad media aproximada de 5.000 hab. km⁻² (mayor concentración en el partido de Malvinas Argentinas) (INDEC, 2010). En la cuenca alta y media, predominan los usos de suelo del tipo urbano, industrial y comercial. Por su parte, en las cercanías de la desembocadura en el Luján, la zona concentra una alta cantidad de barrios cerrados y clubes.

Dado el marcado contexto urbano donde se encuentra el arroyo El Claro, principalmente en los cauces alto y medio, las aguas de este arroyo pueden ser utilizadas con fines recreativos (Bello, 2017). Por este motivo, el estado contaminado del arroyo, y en particular los elevados niveles de Plomo y Cromo en sus aguas, suponen una amenaza para la salud de la población aledaña. Sin embargo, considerando al riesgo como la interacción entre la vulnerabilidad social y la magnitud de una amenaza (Gomez, 2010), existen grupos con mayor riesgo de sufrir los impactos de la presencia de los contaminantes en el arroyo. Entre otros, se mencionan:

- Los niños de corta edad: Tal como se mencionó anteriormente, son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos de metales pesados. Según datos del censo 2010, los niños entre 0 y 4 años representan aproximadamente 9% de la población en los partidos Malvinas Argentinas y Tigre.
- La población que habita el valle de inundación: Considerando que las inundaciones se presentan como una de las problemáticas que afectan al municipio Malvinas Argentinas desde varios años (Gómez, 2010), la población radicada en los valles de inundación del arroyo El Claro puede sufrir el ingreso del agua contaminada a sus casas, y permanecer un tiempo prolongado en contacto con la misma. Sólo en Malvinas Argentinas, 42.794 vecinos viven en los radios censales que tocan el arroyo El Claro y sus afluentes, es decir, en el área de influencia más próxima (Bello, 2017).
- Hogares con elevado Índice de Necesidades Básicas insatisfechas (NBI): Se considera que aquellas viviendas en condiciones de hacinamiento, con infraestructura precaria o inadecuada, y con bajo nivel de escolarización, cuentan con menos herramientas y

recursos para enfrentar los problemas derivados de la contaminación del arroyo. Según datos del INDEC (2010), los partidos de Malvinas Argentinas y Tigre cuentan con 12,1% y 11,0% de viviendas con NBI, respectivamente (Figura 4).

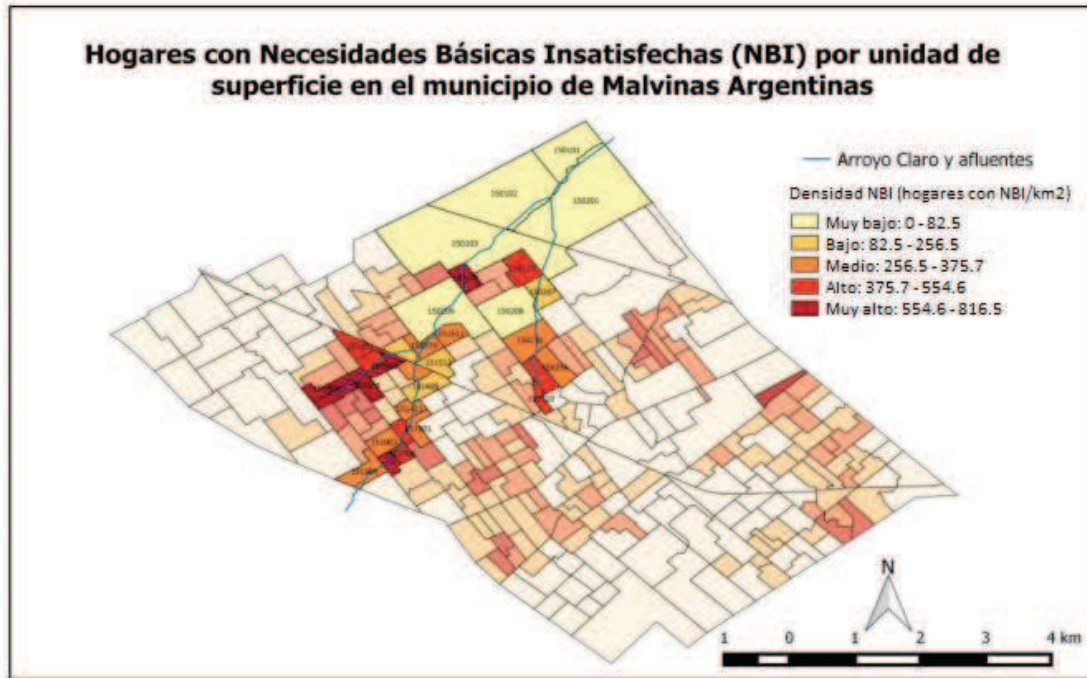


Figura 4. Hogares con NBI por unidad de superficie por radio censal, en el arroyo El Claro.

(Gómez, 2010)

- Hogares sin acceso a agua de red: Teniendo en cuenta que una planta potabilizadora garantiza la seguridad del agua abastecida por red, los hogares sin conexión a la misma pueden consumir agua contaminada. Entre otras posibles razones, la situación anterior puede ocurrir debido a la infiltración de aguas contaminadas, dentro de los pozos de extracción. La Figura 5 presenta un estudio realizado por la Universidad Nacional de General Sarmiento (González, 2010), donde caracterizó las formas de acceso al agua para la población del municipio Malvinas Argentinas cercana al arroyo El Claro.

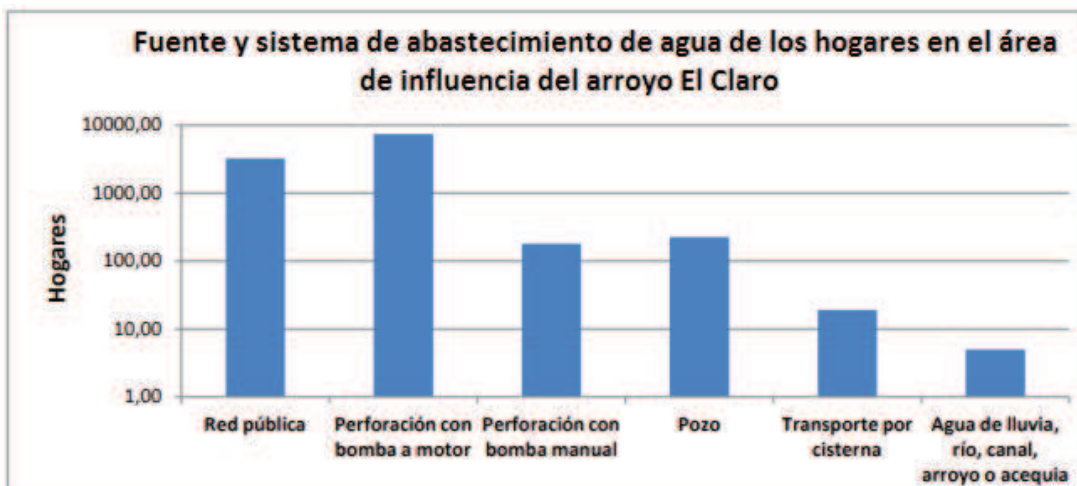


Figura 5. Formas de abastecimiento de agua, para la población del municipio Malvinas Argentinas cercana al arroyo El Claro (González, 2010).

Tal como se mencionó anteriormente, la cuenca baja del arroyo El Claro se caracteriza por un uso de suelo de tipo urbano cerrado (barrios privados, clubes, etc.), y por la rectificación del curso de agua. Si bien la densidad poblacional es menor, en comparación con la cuenca alta y media, nuevamente ocurre una interacción entre las personas y el arroyo contaminado. Cabe destacar que la rectificación del arroyo disminuye la probabilidad de inundación, por lo que el riesgo al que se expone la población en los barrios cerrados es menor que en el curso superior.

Biota (flora y fauna).

Como se indicó anteriormente, la cuenca del arroyo El Claro se encuentra dentro del denominado bioma del pastizal pampeano. Debido al alto nivel de urbanización e influencia antrópica, las comunidades vegetales han quedado relegadas mayormente a la cuenca baja, concentrándose cerca de los cursos de agua y usualmente enmarcadas dentro de los predios de barrios cerrados y clubes. De manera similar, la fauna autóctona ha sido modificada y reducida (Márquez, 2016).

La presencia de metales pesados (entre otros contaminantes que habitan esta cuenca) en las aguas, napas y suelos cercanos al arroyo El Claro, afecta los procesos fisiológicos en diversas especies vegetales, con secuelas sobre sus procesos de imbibición, germinación y crecimiento de órganos como las raíces, tallos y hojas, entre otros (Guzmán, 2012). Por su parte, las especies animales más afectadas son las acuáticas (incluyendo aves, peces y anfibios), donde la

exposición a los metales pesados puede generar daños sobre el tracto gastrointestinal y el sistema nervioso central, así como también ocasionar una disminución de la población (Roder, 2001).

Río Luján.

El río Luján se forma aproximadamente 8 km al norte de la ciudad de Suipacha y recorre unos 128 km antes de su desembocadura en el río de La Plata. A lo largo de su cauce, recibe el aporte de 71 tributarios, incluyendo al río Reconquista, el canal Arias, el Río Sarmiento, y al arroyo El Claro (Observatorio AMBA, 2017).

El arroyo El Claro puede contribuir a la degradación de la calidad de agua del río Luján, aportando una importante carga de contaminantes. En línea con ello, Pizarro (2005) realizó un análisis sobre cuatro sitios del tramo inferior del río Luján, donde se analizaron algunas variables fisicoquímicas del agua y su influencia sobre el perifiton (también llamado ‘biofilm’). A partir de los resultados, se observó el efecto conjunto del arroyo El Claro y del canal Aliviador del río Reconquista, los que en ciertas épocas desmejoran la calidad del agua de forma puntual en el curso del Luján.

Contaminantes

Según el informe del Colegio de Abogados de San Isidro, y contrastando con la normativa vigente, los contaminantes que impactan de manera más significativa, por las características del medio y la concentración en agua, son la materia orgánica suspendida (que se traduce en el analito DBO), el Fósforo y metales pesados como el Cromo, Cobre y Plomo.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DBO, Demanda Biológica de Oxígeno (BOD en inglés, Biological Oxygen Demand), y la DQO, Demanda Química de Oxígeno (COD en inglés, Chemical Oxygen Demand), son unos de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales.

La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg de O₂/l. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅. Se tomó 5 días como estándar porque es el tiempo medio que los ríos británicos tardan en llegar al mar.

Con carácter general, cuanto más contaminación, más DBO. Proporciona una medida aproximada y algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser:

- Pura: entre 2 y 20 mg/l
- Poco contaminada: entre 20 y 100 mg/l
- Medianamente contaminada: entre 100 y 500 mg/l
- Muy contaminada: entre 500 y 3.000 mg/l
- Extremadamente contaminada: entre 3.000 y 15.000 mg/l

Por otra parte, la DQO es la demanda química de oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mgO₂/l. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO

es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO. La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/l, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de industria.

La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO.

DBO y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, pero aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DBO/DQO. Por aportar mayor información y por la rapidez en la obtención de resultados, la DQO se está convirtiendo en la prueba de referencia.

Cromo

Características principales

El Cromo es un elemento químico metálico de símbolo Cr, número atómico 24 y peso atómico 51.996. Es de color blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su mineral más importante por abundancia es la cromita. Es de interés geoquímico el hecho de que se encuentre 0.47% de Cr₂O₃ en el basalto de la Luna, proporción que es de 3-20 veces mayor que el mismo espécimen terrestre.

Existen cuatro isótopos naturales del cromo, ⁵⁰Cr, ⁵²Cr, ⁵³Cr y ⁵⁴Cr. Se han producido diversos isótopos inestables mediante reacciones radioquímicas, siendo el más importante es el ⁵¹Cr, el cual emite rayos gamma débiles y tiene un tiempo de vida media aproximadamente de 27 días. El cromo galvanizado y pulido es de color blanco azulado brillante. Su poder reflejante es 77% del de la plata.

Sus propiedades mecánicas, incluyendo su dureza y la resistencia a la tensión, determinan la capacidad de utilización. El cromo tiene una capacidad relativa baja de forjado, enrollamiento y propiedades de manejo. Sin embargo, cuando se encuentra absolutamente libre de oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno es muy dúctil y puede ser forjado y manejado. Es difícil de almacenarlo libre de estos elementos.

Formas del Cromo en la naturaleza

El cromo forma tres series de compuestos con otros elementos; éstos se representan en términos de los óxidos de cromo: cromo con valencia dos, CrO , óxido de Cr(II) u óxido cromoso; con valencia tres, Cr_2O_3 , óxido de Cr(III) u óxido crómico, y con valencia seis, CrO_3 , anhídrido de Cr(VI) o anhídrido de ácido crómico. El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación (II), (III) y (VI).

Se conocen también los peróxidos, ácido percrómico y perchromatos. Los halogenuros (fluoruro, cloruro, yoduro y bromuro) de cromo son compuestos bastante comunes de este metal. El cloruro, por ejemplo, se utiliza en la producción de cromo metálico mediante la reducción del cloruro cromoso, CrCl_2 , con hidrógeno.

Efectos del Cromo sobre la salud

La gente puede estar expuesta al Cromo a través de respirarlo, comerlo o beberlo y a través del contacto con la piel con Cromo o compuestos del Cromo. El nivel de Cromo en el aire y el agua es generalmente bajo. En agua para beber el nivel de Cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero el agua de pozo contaminada puede contener el peligroso Cromo (VI), Cromo hexavalente. Para la mayoría de la gente que come comida que contiene Cromo III es la mayor ruta de entrada de Cromo, como Cromo III ocurre naturalmente en muchos vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. Varias maneras de preparación de la comida y almacenaje pueden alterar el contenido de Cromo en la comida. Cuando la comida es almacenada en tanques de acero o latas las concentraciones de Cromo pueden aumentar. El Cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes. Pero la toma de mucho Cromo III puede causar efectos sobre la salud también, por ejemplo erupciones cutáneas.

El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. Cuando es un compuesto en los productos de la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el Cromo (VI) puede causar irritación y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que son causado por el Cromo (VI) son erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y muerte.

Se ha estudiado que la E. Coli puede reducir al Cromo hexavalente en Cromo(III) mediante biorreducción en efluentes cloacales (Panigatti, 2007).

Efectos ambientales del Cromo

Hay varias clases diferentes de Cromo que difieren de sus efectos sobre los organismos. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de Cromo (III) son el acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cromo (VI). Estas aplicaciones incrementarán las concentraciones del Cromo en agua. A través de la combustión del carbón el Cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá.

El Cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón cuando la dosis es muy baja. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos. Este puede alterar el material genético y causar cáncer.

Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de Cromo para que está sea lo suficientemente baja como para no causar cáncer. Pero cuando la cantidad de Cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir.

No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores. (Lenntech water treatments)

Cobre

Características principales

El Cobre es un Elemento químico metálico de símbolo Cu, con número atómico 29, uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos.

La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

El cobre es el primer elemento del subgrupo Ib de la tabla periódica y también incluye los otros metales de acuñación, plata y oro. Su átomo tiene la estructura electrónica $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$. El bajo potencial de ionización del electrón $4s^1$ da por resultado una remoción fácil del mismo para obtener cobre(I), o ion cuproso, Cu^+ , y el cobre(II), o ion cúprico, Cu^{2+} , se forma sin dificultad por remoción de un electrón de la capa 3d. El peso atómico del cobre es 63,546. tiene dos isótopos naturales estables ^{63}Cu y ^{65}Cu . También se conocen nueve isótopos inestables (radiactivos). El cobre se caracteriza por su baja actividad química. Se combina químicamente en alguno de sus posibles estados de valencia. La valencia más común es la de 2^+ (cúprico), pero 1^+ (cuproso) es también frecuente; la valencia 3^+ ocurre sólo en unos cuantos compuestos inestables.

Un metal comparativamente pesado, el cobre sólido puro, tiene una densidad de $8,96 \text{ g/cm}^3$ a 20°C , mientras que el del tipo comercial varía con el método de manufactura, oscilando entre

8.90 y 8.94. El punto de fusión del cobre es de $1083.0 (+/-) 0.1^{\circ}\text{C}$ ($1981.4 +/- 0.2^{\circ}\text{F}$). Su punto de ebullición normal es de 2595°C (4703°F). El cobre no es magnético, o más exactamente, es un poco paramagnético. Su conductividad térmica y eléctrica son muy altas. Es uno de los metales que puede tenerse en estado más puro, es moderadamente duro, es tenaz en extremo y resistente al desgaste. La fuerza del cobre está acompañada de una alta ductibilidad. Las propiedades mecánicas y eléctricas de un metal dependen en gran medida de las condiciones físicas, temperatura y tamaño de grano del metal.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre(II) pentahidratado o azul de vitriolo, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Otros incluyen la mezcla de Burdeos; $3\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CuSO}_4$; verde de París, un complejo de metaarsenito y acetato de cobre; cianuro cuproso, CuCN ; óxido cuproso, Cu_2O ; cloruro cúprico, CuCl_2 ; óxido cúprico, CuO ; carbonato básico cúprico; naftenato de cobre, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca. Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores.

Efectos del Cobre sobre la salud

El Cobre es una substancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. Por ejemplo, este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de Cobre en el ambiente se ha expandido.

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire, por lo que absorbemos una cantidad eminente cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del Cobre es necesaria, porque el Cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de Cobre proporcionalmente altas, mucho Cobre puede también causar problemas de salud.

La mayoría de los compuestos del Cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del Cobre forman la mayor

amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del Cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura.

Las concentraciones del Cobre en el aire son usualmente bastante bajas, así que la exposición al Cobre por respiración es descartable. Pero gente que vive cerca de fundiciones que procesan el mineral cobre en metal pueden experimentar esta clase de exposición.

La gente que vive en casas que todavía tiene tuberías de cobre están expuestas a más altos niveles de Cobre que la mayoría de la gente, porque el Cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías.

La exposición profesional al Cobre puede ocurrir. En el Ambiente de trabajo el contacto con Cobre puede llevar a coger gripe conocida como la fiebre del metal. Esta fiebre pasará después de dos días y es causada por una sobre sensibilidad.

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún.

Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes.

Efectos ambientales del Cobre

La producción mundial de Cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más Cobre termina en el medioambiente. Los ríos están depositando barro en sus orillas que están contaminados con Cobre, debido al vertido de aguas residuales contaminadas con Cobre. El Cobre entra en el aire, mayoritariamente a través de la liberación durante la combustión de fuel. El Cobre en el aire permanecerá por un período de tiempo eminente, antes de depositarse cuando empieza a llover. Este terminará mayormente en los suelos, como resultado los suelos pueden también contener grandes cantidades de Cobre después de que esté sea depositado desde el aire.

El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Unos pocos de ejemplos de

actividades humanas que contribuyen a la liberación del Cobre han sido ya nombrado. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

El Cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos.

Cuando el Cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.

El Cobre no se rompe en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido al efecto del Cobre sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene Cobre es todavía usado.

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto.

Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Principalmente las ovejas sufren un gran efecto por envenenamiento con Cobre, debido a que los efectos del Cobre se manifiestan a bajas concentraciones. (Lenntech Water Treatment)

Plomo

El Plomo es el contaminante mas estudiado en este proyecto, dado que tanto sus movimientos como distribución y remediación son compartidos con los demás metales. Se verá un enfoque holístico del mismo

Características generales

El plomo es un metal pesado carcinogénico y mutagénico, utilizado en un gran número de actividades industriales (como, por ejemplo, en la fabricación de baterías ácido-plomo, galvanoplastias, etc.). Una incorrecta gestión de esta sustancia por parte de estas empresas puede desencadenar en la contaminación de suelos y cursos naturales de agua, tanto superficiales como subterráneos. Una vez dentro del ecosistema, no se degrada, por lo que puede unirse a compuestos carbonados; moverse por los cursos de agua; transportarse atmosféricamente debido a la asociación con material particulado, o bien debido a reacciones de etilación y metilación que generan productos volátiles; adsorberse por plantas para incorporarse a las cadenas tróficas; o retenerse en los componentes de los suelos y sedimentos, entre otras posibilidades (Porzionato, 2016).

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, del inglés: International Agency for Research on Cancer) clasifica a las sustancias cancerígenas en 3 categorías principales. Particularmente, clasificó al plomo dentro del grupo B2, correspondiente a “posiblemente carcinógeno para el ser humano” (IARC, 2006).

Por su parte, el arroyo El Claro es un cuerpo de agua que atraviesa una vasta longitud dentro del conurbano bonaerense, sirviendo como cuerpo receptor para efluentes con concentraciones altas de metales pesados, entre ellas el plomo.

Fuentes de plomo.

El plomo puede hallarse en la corteza terrestre, en un promedio de 16 mg.kg^{-1} . Fue uno de los primeros metales extraídos y fundidos por el hombre, a partir de minerales tales como la galena (PbS), la cerusita (PbCO_3) y la anglesita (PbSO_4). En el pasado, esta sustancia ha sido empleada extendidamente en pigmentos y como aditivo antidetonante en la gasolina (Page, 1993). En la actualidad, se continúa utilizando en actividades como construcción de edificios, baterías de almacenamiento de energía, soldaduras, producción de peltre, productos de plomería, pigmentos (en menor medida), y otros diversos usos (Cheng, 2010).

Una gran proporción del plomo presente en el ambiente se debe a su liberación por parte de las actividades antrópicas (efluentes industriales contaminados con plomo, material particulado volátil con contenido de plomo, entre otras). Debido a su alta persistencia e imposibilidad de degradación, esta sustancia es capaz de moverse a través de diferentes compartimentos de

los ecosistemas, lo que hace que el plomo sea un contaminante en el aire, agua y suelo, tanto en ámbitos urbanos como también rurales (Caurant, 2006).

Toxicología.

El plomo es un metal que no cumple ninguna función esencial biológica, y genera gran toxicidad. Entre sus posibles efectos a largo plazo, se menciona su capacidad mutagénica y de bioacumulación. Por otra parte, a corto y mediano plazo, el plomo puede actuar como neurotóxico, y también afectar los sistemas renal, endocrino y sanguíneo.

Se denomina saturnismo, plumbosis o plumbemia, a la enfermedad que produce el plomo cuando ingresa en el cuerpo humano. Los síntomas de envenenamiento con plomo varían según el individuo, la edad y la dieta, siendo los más comunes: irritabilidad, dificultades de aprendizaje, pereza, pérdida de apetito, dolor abdominal y vómitos. Esta diversidad de síntomas a menudo dificulta su diagnóstico, por lo que frecuentemente se debe apelar a la medición de plomo en sangre para verificar la exposición. Los efectos tóxicos y la magnitud de estos también son variables entre los individuos afectados, tanto así que existen grupos con gran vulnerabilidad, como niños y mujeres embarazadas (Poma, 2008). El tratamiento de saturnismo consiste en la eliminación inmediata de la fuente de exposición, tratamiento sintomático de los cuadros más graves, y eliminación del plomo con un agente quelante. Se suele emplear inicialmente el EDTA Ca-Na₂ (Ácido etilendiaminotetraacético, sal disódica de calcio), solo o en combinación con dimercaprol, seguidos de D-penicilamina en caso de ser necesaria una terapia de mantenimiento. EDTA Ca-Na₂ es el agente más empleado, ya que produce una rápida desaparición de los cólicos abdominales y de la paresia (Poma, 2008).

La toxicocinética describe el recorrido que hace una sustancia tóxica dentro del organismo, y estudia los cambios que ocurren a través del tiempo. A grandes rasgos, sus fases constituyentes son: Ingreso, Absorción, Distribución, Biotransformación y Excreción (Rojas, 2013). Para el caso particular del plomo, dichas fases se describen a continuación:

- Ingreso y absorción: El plomo puede ingresar al organismo a través del sistema respiratorio, por el tracto gastrointestinal, piel u ojos. La absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico o en soluciones altamente lipofílicas, puede ingresar a través de la piel fácilmente. La vía de exposición más común es la respiratoria, pero en niños también es frecuente la ingesta involuntaria, puesto que son más propensos a tragar objetos que contienen plomo o que están

recubiertos de este metal (OMS, 2019). Una vez dentro del organismo, el plomo que ingresó por el sistema gastrointestinal se absorbe activamente, desde el intestino delgado hasta el colon. Por su parte, el metal que ingresó por vías respiratorias, es absorbido generalmente en un 20%. En el caso de los niños, este porcentaje es aún mayor, pudiendo absorber hasta aproximadamente un 40% del plomo aspirado (Poma, 2008; Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2007; Infantas, 2020).

- Distribución: Posterior a su absorción, el sistema circulatorio distribuye el plomo (unido a glóbulos rojos) al resto del cuerpo. Esto le permite acceder a los órganos blanco de toxicidad, como hígado, riñón, médula ósea y sistema nervioso central. Luego de 1-2 meses, el plomo difunde a los huesos, por lo que estos se vuelven un reservorio del metal (aumentando en gran medida su permanencia en el organismo). Se estima que el tiempo medio de vida del Pb en la sangre es de 28 a 36 días, mientras que en huesos y dientes es de 20 a 30 años (Infantas, 2020).
- Metabolización y eliminación: Al igual que el resto de los metales pesados, el plomo es difícilmente metabolizable. La mayor parte del metal que ingresa al cuerpo es excretada por la orina o por las heces, sin embargo, existen distintas vías capaces de modificar estos compuestos (principalmente sus formas orgánicas). Entre otras, la metilación se basa en adicionar un ion metilo al átomo de plomo, para aumentar su liposolubilidad y facilitar su eliminación. Habitualmente, los compuestos metálicos producidos resultan altamente tóxicos (D'Itri, 2015). El plomo que no es excretado permanece en el cuerpo por períodos prolongados, y se intercambia entre tres compartimentos (sangre, huesos y dientes). La proporción almacenada en huesos y dientes puede volver a la circulación durante períodos de deficiencia de calcio, como el embarazo, lactancia y osteoporosis (Poma, 2008).

Plomo en el ambiente.

Su incapacidad de degradación otorga al plomo mayores tiempos para transformarse y movilizarse a través de diferentes componentes del ecosistema, como lo son el suelo, cuerpos de agua, atmósfera, organismos, etc. El mencionado metal puede encontrarse como iones metálicos unido a sustancias húmicas en aguas superficiales y subterráneas, como iones metálicos unidos a suelos y sedimentos, o bien hallarse junto con el material particulado en el aire, entre muchas otras alternativas. El plomo también tiene la capacidad de acumularse en los

organismos (proceso de bioacumulación), y bioconcentrarse a lo largo de los eslabones de la cadena trófica (Krishnamurthy, 1992; Arikan & Ries, 2014). La figura 1 contiene un esquema general de la movilidad del plomo en los diferentes compartimientos de un ecosistema, extraído de Poma (2008). Si bien se realizó para un metal, también relata lo que sucede con los otros.

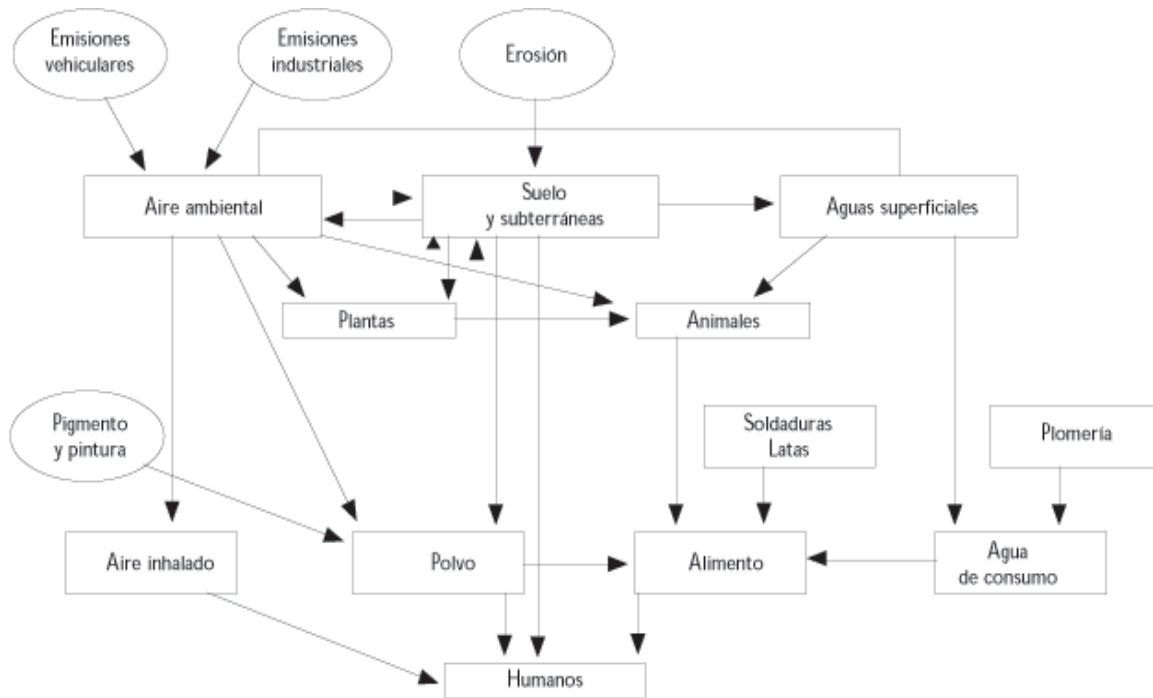


Figura 6. Esquema de movilidad del plomo (Poma, 2008).

El plomo es una sustancia que no se elimina naturalmente de los ecosistemas acuáticos, sino que sufre diferentes transformaciones en función de las condiciones biológicas o físico-químicas del medio (Martínez, 2006). Las transformaciones y movilización del plomo (Figura 6) son de importancia ambiental fundamental, puesto que determinan su especiación y el nivel de exposición al que se encuentran los organismos (Krishnamurthy, 1992). Las especies con mayor movilidad, como lo son el plomo disuelto o las especies orgánicas volátiles, son las que afectarán mayor proporción de organismos, puesto que entran en contacto con los mismos más fácilmente que las especies poco móviles. Por otra parte, las formas orgánicas de plomo (como lo son el metil-plomo, etil-plomo, etc.) tienden a ser más liposolubles y reactivos que las inorgánicas (como Pb (II) o Pb(III)), por lo que resultan las especies más tóxicas (Handbook of Ecotoxicology; 2003).

Los factores que pueden modificar las características de los compuestos con plomo son diversos, e incluyen la presencia de microorganismos capaces de metilar o etilar el metal, el tipo de medio (acuoso, sobre sedimentos, etc.), las condiciones fisicoquímicas del medio (como pH y contenido de materia orgánica), entre otros. En línea con lo anterior, y teniendo en cuenta que el presente informe utiliza mediciones de plomo realizadas sobre las aguas del arroyo El Claro, merece particular atención la dinámica y las transformaciones del metal dentro de una matriz líquida:

- En primer lugar, los compartimientos acuosos y atmosféricos poseen una elevada capacidad dispersiva, por lo que representan las vías más frecuentes para su ingreso a otros ecosistemas (Poma, 2008).
- Por otra parte, los organismos acuáticos poseen un contacto constante con las sustancias contenidas en el medio líquido, por lo que son altamente sensibles al ingreso de tóxicos, y tienden a desencadenar biotransformaciones del metal.

Plomo en el agua

La especiación del plomo en agua está controlada por el pH, la dureza, la presencia de compuestos con los que puedan darse reacciones redox, por la serie de ligandos disponibles para la formación de complejos, y por la disponibilidad de lugares de adsorción, entre otros (Cobelo García, 2003).

Cada especie de plomo posee diferente capacidad de interactuar con su entorno (incluyendo material en suspensión, sedimentos, otros contaminantes, etc.), así como determinada biodisponibilidad y/o toxicidad para los organismos. Las principales formas que pueden hallarse para metales pesados, se presentan a continuación (Porzionato, 2016):

- Metales solubles en agua (iones libres, complejos orgánicos e inorgánicos). Particularmente, el plomo es capaz de formar fuertes complejos orgánicos, con elevada solubilidad.
- Metales intercambiables.
- Metales precipitados como compuestos inorgánicos (sulfuros insolubles, carbonatos, óxidos e hidróxidos). A diferencia de otros metales pesados, el sulfato de plomo entra en el grupo de compuestos insolubles.
- Metales adsorbidos o co-precipitados a minerales del tipo FeS y FeS₂.
- Metales complejados con materiales húmicos de alto peso molecular.

- Metales ocluidos o adsorbidos en óxidos e hidróxidos insolubles.
- Metales unidos con el entramado estructural cristalino de minerales primarios y secundarios (láminas de silicato y aluminosilicatos).

La biodisponibilidad del metal suele estar determinada por las fracciones de plomo libre y en complejos solubles (Cobelo García, 2003). Las comunidades de algas, hongos y microorganismos, son capaces de absorber y/o adsorber en superficie dichos compuestos, removiéndolos del medio acuoso y concentrándolos en sus tejidos (D'Itri, 2015). Si el plomo queda retenido e inmovilizado, entonces la peligrosidad del metal baja. Sin embargo, las especies han desarrollado diferentes mecanismos fisiológicos y bioquímicos para minimizar los efectos de éstos sobre sus tejidos, los cuales pueden llevar a una movilización y reactivación del metal (Mendieta Webster, 2014):

- Algunas plantas pueden traslocar plomo a diferentes órganos vegetativos. Como consecuencia, puede facilitarse la introducción en la cadena trófica.
- Los organismos pueden utilizar vías metabólicas para detoxificar sus células (incluyendo la metilación y etilación). Como resultado, pueden liberarse al medio compuestos de plomo orgánico, de mayor liposolubilidad y toxicidad que sus formas inorgánicas. En un informe realizado por Grandjean (1979), se reportó un caso en el que los microorganismos de los sedimentos del Lago Ontario convirtieron el cloruro de plomo, el nitrato de plomo y el acetato de plomo de trimetilo, en tetrametilo de plomo.

Por otra parte, el plomo puede encontrarse complejado tanto con ligandos orgánicos (acetato, ácidos húmicos y fúlvicos, entre otros), como con ligandos inorgánicos (tales como sulfato, OH^- , CO_3^{2-} y Cl^-), dando lugar a complejos de baja solubilidad (D'Itri, 2015). Estos procesos de retención y/o precipitación reducen la peligrosidad del plomo, ya que disminuyen su disponibilidad biológica. Habitualmente, las condiciones del medio fomentan dicha inmovilización (condiciones reductoras, presencia de carbonatos y materia orgánica, etc.), sin embargo, es posible que variaciones en las condiciones ambientales provoquen una re-movilización de los mismos, aumentando su biodisponibilidad para la vegetación y fauna acuática (Tufo, 2015; Núñez, 2011).

Plomo en sedimentos.

Tal como se mencionó anteriormente, los metales pesados suelen ser los contaminantes de mayor importancia en sedimentos, tanto por su tendencia a asociarse a los mismos, como por

su persistencia. En general, se distinguen tres zonas en los perfiles de sedimentos, con diferente capacidad de interacción (Porzionato, 2016):

- Una capa superficial óxica (sedimento/agua): Las especies estables de metales son principalmente adsorbidas sobre los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, materia orgánica y arcillas. Además, sobre esta capa pueden depositarse el material particulado y los precipitados de carbonatos e hidróxidos, entre otros (D'Itri, 2015).
- Una capa óxica-anóxica, y otra totalmente anóxica: Los mecanismos de estabilización de materia orgánica sedimentada conducen a la generación de una alta demanda de oxígeno en los sedimentos y, en consecuencia, se establece el ambiente anaeróbico adecuado para la formación biocatalizada de sulfuros insolubles. Usualmente, los procesos geoquímicos que involucran al azufre son los de mayor importancia en la regulación de la movilidad de los metales pesados (Porzionato, 2016).

Según las condiciones de pH y Eh del medio, ocurrirán en los sedimentos los procesos de adsorción/desorción, precipitación/disolución, y/o complejación/disociación. A su vez, la presencia de microorganismos puede derivar en la metilación de la fracción biodisponible del plomo, aumentando su liposolubilidad y toxicidad. Frente a cambios en las condiciones biofísicoquímicas mencionadas, ocurren eventos de movilización de metales entre los componentes del sedimento, incrementando su biodisponibilidad en solución, y funcionando de esta forma como potenciales fuentes secundarias de metales pesados (Porzionato, 2016).

Normativa de regulación de los contaminantes a analizar

Las normativas que establecen límites a las concentraciones de contaminantes se redactan como instrumentos regulatorios. Estos procuran proteger al ambiente y la calidad de vida humana, a fin de prevenir los efectos ecotóxicos y tóxicos explicados en la sección anterior. A continuación, se presentan los resultados de la búsqueda de normativa de los contaminantes de interés en las aguas superficiales y en los sedimentos.

Normativa en agua superficial.

A nivel nacional, provincial y municipal, existen múltiples normativas que regulan contaminantes en agua. Éstas pueden agruparse en tres grupos principales, a saber:

1. Normativa referente a la calidad de agua
2. Normativa referente a los residuos peligrosos
3. Normativa referente a los parámetros admisibles en los efluentes industriales y cloacales.

Como este proyecto se focaliza sobre la calidad del sistema ambiental del arroyo El Claro, sólo se incluye la normativa de los dos primeros grupos.

Normativa referente a la calidad de agua.

El Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) cuenta con dos organismos con incumbencias en la gestión de agua, y cuyas normativas incluyen a los contaminantes en cuestión:

- La Autoridad del Agua (ADA): Su función es la de regular y fiscalizar lo relativo al uso de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, incluyendo el control de los vuelcos de efluentes líquidos a cuerpos de agua. La Resolución N° 42/2006 establece “valores de referencia de calidad de Aguas Dulces y Marinas para la protección de la biota acuática, para agua de uso recreativo en la zona de uso exclusivo del Río de la Plata y su Frente Marítimo”, incluyendo entre los parámetros a todos los contaminantes a analizar (Tabla II).
- La Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR): Es un ente autónomo, autárquico e interjurisdiccional, conformado por la Nación, la Provincia de Buenos Aires y la Ciudad de Buenos Aires. Originalmente, los límites geográficos de su

jurisdicción de control contemplaban toda la extensión de la CABA y aquellos municipios de la Provincia de Buenos Aires que tuvieran parte de su territorio dentro de la Cuenca. Posteriormente, se redujo el alcance geográfico del organismo a los territorios físicamente relacionados con la cuenca (Resolución N°1.113/2013). En su Resolución N°283/2019 (Anexo A), ACUMAR estableció sus propios límites para los parámetros admisibles en aguas, en función de cinco usos definidos, a saber:

- I a. Apta para protección de biota y uso recreativo con contacto directo
- I b. Apta para protección de biota
- II. Apta para actividades recreativas con contacto directo
- III. Apta para actividades recreativas sin contacto directo
- IV. Apta para actividades recreativas pasivas

Si bien, como se aclaró anteriormente, el arroyo El Claro no forma parte de la Cuenca Matanza Riachuelo (y, por ende, no forma parte de la jurisdicción de ACUMAR), los valores establecidos por la Resolución N°46/2017 resultan una fuente de información útil, ya que las características generales de las cuencas son similares.

Tabla II. Límites permitidos en la normativa de la calidad de agua.

Compuesto Contaminante	Res. ADA N° 42/06		Res. Acumar N° 46/17				
	Agua dulce y marina para uso recreativo, en la zona del Río de la Plata y su frente marítimo	Agua dulce como fuente de agua potable	Uso I a	Uso I b	Uso II	Uso III	Uso IV
Pb (ug/l)	25	10	< 2	< 2	< 50	*	*
Cr (ug/l)	125	50	< 2	< 2	< 50	*	*
Cu (ug/l)	5000	2000	< 9	< 9	< 200	*	*
PT (ug/l)	25		< 10	< 10	< 1000	< 5000	< 5000
DBO (mg/l)	10	10	< 5	< 5	< 10	< 15	< 15

Normativa referente a los residuos peligrosos.

A nivel nacional existe un marco regulatorio vigente para los residuos peligrosos, normado por la Ley N° 24.051 de Residuos Peligrosos y su decreto reglamentario N° 831/1993. En la tabla II se exponen niveles guía para diferentes usos del agua. Los distintos medios regulados en el mencionado Anexo II, se listan a continuación (se incluyen en la tabla III los niveles guía solamente relevantes en el sistema de estudio).

Tabla III. Relevantes niveles guía de contaminantes en el Decreto Nacional N°831/1993 (Elaboración propia).

Contaminante	Dec 831/93: Niveles guía de calidad de agua							
	Fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional	Protección de vida acuática (agua dulce superficial)	Protección de vida acuática (agua salada superficial)	Protección de vida acuática (agua salobres superficial)	Irrigación	Bebida de ganado	Recreación	Pesca Industrial
Pb (ug/l)	50	1	10	10	200	100	---	---
Cr (ug/l)	50	2	18	50	100	1000	---	---
Cu (ug/l)	1000	2	4	50	200	1000	---	40
PT (ug/l)	---	---	---	---	---	---	---	---
DBO (mg/l)	---	---	---	---	---	---	---	---

Normativa en sedimentos.

Ante la ausencia de legislación argentina que regule las sustancias admitidas en sedimentos, se consideraron las siguientes normativas internacionales:

1. Las Guías de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG, *Canadian Environmental Quality Guidelines*), que establecen dos valores de referencia para los metales presentes en los sedimentos de cuerpos de agua continental, a saber:
 - a. La Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG, *Interim Sediment Quality Guideline*): representa la concentración por debajo de la cual no se espera que ocurran efectos biológicos adversos (Ver Tabla III).
 - b. El Nivel de Efecto Probable (PEL, *Probable Effect Level*): indica la concentración por encima de la cual aparecen frecuentemente efectos biológicos adversos (Ver Tabla III).
2. Los niveles de fondo establecidos en la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment) emitida por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Ver Tabla IV).

Tabla IV. Regulaciones internacionales de contaminantes en sedimentos

Contaminante	CEQG		NOAA
	ISQG	PEL	
Pb (mg/kg)	35	91,3	4-17
Cr (mg/kg)	37,3	90	7-13
Cu (mg/kg)	35,7	197	10-25
PT (mg/kg)	---	---	---
DBO (mg/kg)	---	---	---

Es pertinente aclarar que estos niveles guía no deben ser adoptados directamente como estándares de calidad ambiental nacionales, debido a las diferencias en las características de sedimentos locales y las empleadas por la normativa internacional. Sin embargo, podrían tomarse como recomendaciones.

Modelo Conceptual

Un modelo conceptual es una representación del sistema que se busca estudiar. Teniendo en cuenta las posibles fuentes y receptores, identificadas en las secciones anteriores, y considerando las principales interacciones del metal en los diferentes compartimientos, a continuación, se presenta un esquema que resume la dinámica de los contaminantes dentro del arroyo El Claro (Figura 7).

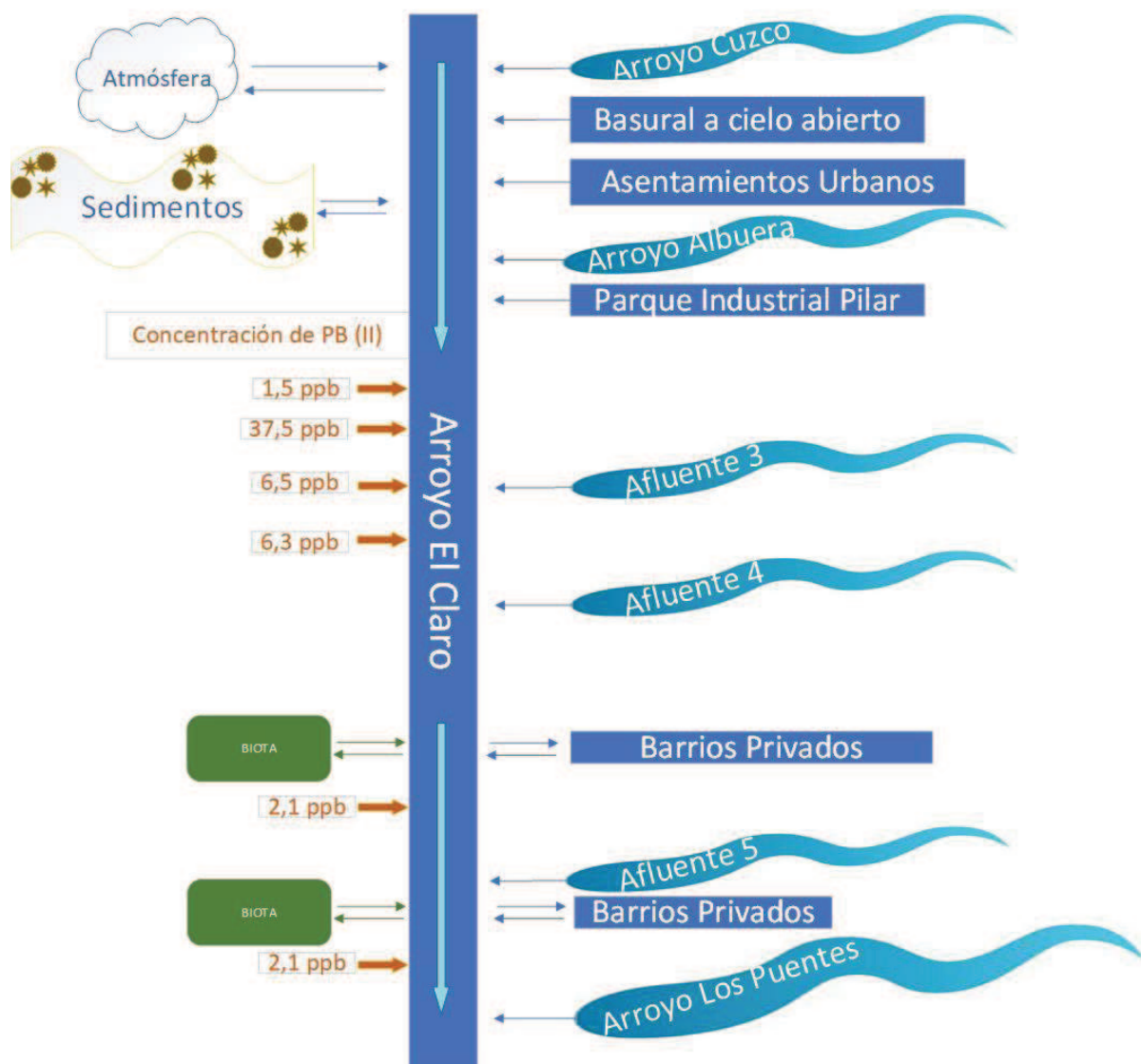


Figura 7. Modelo conceptual del arroyo El Claro (Fuente: Elaboración propia)

El modelo conceptual desarrollado se centra en el compartimiento acuático del sistema conformado por el arroyo El Claro, y comprende varias de las interacciones que sufre este cuerpo a lo largo de su cauce. A través del recorrido, se identificaron los siguientes actores:

- Un basural a cielo abierto (BCA), considerado como un potencial emisor.
- Asentamientos urbanos, capaces de generar residuos conteniendo metales y compuestos orgánicos (compuestos orgánicos, hidrocarburos, entre otros) que pueden ser transportados hasta el arroyo, al mismo tiempo que se presentan como potenciales receptores de la toxicidad de los metales.
- Un conjunto de industrias, englobadas dentro de un parque industrial, cuyos efluentes pueden aportar metales pesados (entre otros) al arroyo El Claro.
- 6 afluentes del arroyo El Claro, incluyendo los arroyos Cuzco y Albuera. Los afluentes 3 y 4 merecen particular atención, puesto que atraviesan diversos predios industriales y concentran buena parte de las mediciones de Plomo, Cromo y Cobre reportadas por el colegio de abogados de San Isidro (2019).
- Barrios privados, ubicados en la cuenca baja del arroyo. Al igual que en el caso de los asentamientos urbanos, pueden actuar como fuente y receptores de los contaminantes en estudio.
- La biota (flora y fauna), relegada mayormente dentro de los barrios privados. Por un lado, son lábiles de recibir los efectos tóxicos. Por otro lado, pueden acumular, concentrar y biotransformar los metales pesados, alterando su distribución y propiedades intrínsecas.

Existen adicionalmente interacciones con la atmósfera y los sedimentos, a lo largo de todo el trayecto. Por último, en el margen izquierdo del esquema, se encuentran ubicadas las mediciones realizadas por el colegio de abogados de San Isidro (2019).

Tratamientos de remediación de la calidad de agua y ecosistemas

La remediación es un conjunto de operaciones, realizadas con el objetivo de recuperar o mejorar la calidad del ambiente o alguna de sus partes (Bardos, 2000). Existe gran cantidad de técnicas, incluyendo algunas que utilizan minerales, microorganismos, hongos, plantas o enzimas derivadas de ellos. Los tratamientos para reducir la toxicidad o movilidad de los contaminantes pueden ser físicos, químicos, biológicos o una combinación de algunos de estos (Song, 2017).

Pueden utilizarse diversos criterios para agrupar las técnicas de remediación. Dependiendo del lugar de aplicación del proceso, se distinguen tres estrategias principales, a saber (Peng et al, 2009):

- Remediación in situ: implica el tratamiento en el lugar original contaminado, sin movilizar la matriz objeto de la remediación.
- Remediación on site: estadio intermedio entre los extremos. El lugar de trabajo se sitúa en un área cercana, frecuentemente, adyacente al sitio de estudio.
- Remediación ex situ: requiere la extracción y el transporte del compartimento contaminado para su tratamiento. Este se lleva a cabo en instalaciones externas.

Como ya se indicó, en este trabajo se abordarán alternativas que permitan tratar tanto los sedimentos como el agua superficial. En las secciones siguientes se abordan separadamente las técnicas de remediación para cada una de las matrices.

Tratamientos para la remediación del agua

Debido a su alta biodisponibilidad y capacidad de movilización, resulta de gran interés reducir la fracción de especies de contaminantes en estudio contenidas en la matriz acuosa del arroyo El Claro (disueltas o suspendidas). La técnica seleccionada debe tener la capacidad de remediar elevados volúmenes de agua, con bajas concentraciones de metales pesados (alrededor de 1,5 - 6,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$) y concentraciones medias de DBO (entre 200 y 700 mg.L^{-1}) y Fósforo, en presencia de otras sustancias que complejizan la matriz.

Las técnicas convencionales de remediación de aguas incluyen los procesos de oxidación, reducción, precipitación química, filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción, entre otras (Xu, 2008). Sin embargo, estas presentan limitaciones en el caso de aplicarse a las aguas del arroyo El Claro:

- La filtración por membrana opera con bajas concentraciones de metales y logra elevadas eficiencias de remoción, pero su operación es compleja y costosa, y las membranas pueden saturarse velozmente (Vareda, 2019).
- El intercambio iónico con resinas se vuelve costoso al tratar elevados volúmenes de agua con bajas concentraciones (Vareda, 2019).
- La precipitación química requiere de elevadas cantidades de coagulantes y precipitantes, además de alterar las condiciones fisicoquímicas de la matriz; entre otras plausibles dificultades (Vareda, 2019).

Vareda (2019) afirma que, de entre las diferentes técnicas de remediación, aquellas basadas en adsorción suelen ser las más viables de aplicar en una matriz ambiental acuosa.

Adsorción con dolomita.

La adsorción se refiere a la transferencia reversible y pasiva de iones disueltos en solución acuosa a la superficie de un adsorbente. La sustancia que se concentra recibe el nombre de adsorbato, y la fase que la retiene es llamada adsorbente (García Rojas, 2012). Existen diferentes tipos de adsorción, incluyendo la física (causada principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas), la química (surge como resultado de la interacción química entre adsorbato y adsorbente), y el intercambio iónico (el proceso ocurre entre los iones mantenidos en la superficie (García Rojas, 2012).

La eficiencia y cinética de la adsorción están afectados por varios factores, como el pH y la fuerza iónica del medio, principalmente. En particular, la dolomita es un mineral macroporoso frecuente en las rocas sedimentarias continentales y marinas, que tiene particular afinidad por el plomo. Está compuesta por carbonato de calcio y magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, con un contenido teórico de 45,7% de MgCO_3 y 54,3% de CaCO_3 . Se realizó un estudio en el cual se obtuvo que la capacidad de adsorción de plomo no se vio afectada en presencia de otro metal en concentraciones bajas (Cobre a $C < 130 \text{ mg/L}$). Esto indica que la técnica podría ser capaz de remover el plomo contenido dentro de una matriz compleja, como lo son las aguas del arroyo El Claro (Paternina, 2017).

La remediación a través de adsorción con dolomita es una técnica sencilla de remoción. Requiere liberar al cauce del cuerpo contaminado sucesivos “equipos” adsorbentes, los cuales son básicamente una boya con una bolsa porosa, que permite el paso del agua y el contacto con el mineral triturado dentro (Paternina, 2017).

Las principales ventajas de esta técnica se listan a continuación:

- El adsorbente es un material de fácil adquisición, económico, y que no requiere complejos métodos de acondicionamiento.
- El proceso de remoción en sí no requiere excesivo mantenimiento y es simple.
- Los metales quedan retenido en una matriz no biológica, por lo que no genera biodisponibilidad.

En contraposición, las principales desventajas de esta técnica incluyen:

- Los equipos instalados pueden alcalinizar el sistema y modificar las condiciones naturales del medio.
- La falta de estudios suficientes, acerca de la recuperación de los metales adsorbido o de la disposición del adsorbente contaminado. En relación con esto, se debe destacar que la mayor parte de la información consultada en base a esta técnica se encuentra en escala de laboratorio.

Biosorción por microorganismos.

Como ya se indicó anteriormente, la adsorción se refiere a la unión pasiva y reversible de un adsorbato sobre la superficie de un adsorbente. Cuando dicho adsorbente es un material de origen biológico, se trata de una biosorción, siendo posible utilizar biomateriales como bacterias, algas, hongos, biopolímeros, lodos activados y sus subproductos, tales como alginato, quitosano (Plaza Cazón, 2011; Ahluwalia, 2007). El mecanismo es independiente del metabolismo celular, y está regido por los grupos funcionales presentes en la superficie de la biomasa (Ahluwalia, 2007).

Las bacterias, los hongos y las algas se encuentran entre los biosorbentes más utilizados para la remoción de metales pesados presente en soluciones diluidas. Mientras que la biomasa fúngica se une a cationes metálicos a través de la acumulación en los aminopolisacáridos de sus paredes celulares (biopolímeros de quitina/quitosano), las algas acumulan iones metálicos a través de interacciones con grupos carboxílicos (es decir, alginato/ácido algínico) o polisacáridos sulfatados (fucoidan, carragenina), según el tipo de alga (Boschi, 2011).

La intensidad del proceso de biosorción está relacionada con la superficie disponible del biomaterial, y con el pH de la solución, entre otros factores (Moreira, 2019). En particular, el pH influye en la carga superficial del adsorbente y la forma en que las especies adsorbidas están presentes en la solución (Santos, 2018):

- En condiciones ácidas, los grupos funcionales de las paredes celulares pueden protonarse. Si la mayoría de los sitios de unión están ocupados por protones, disminuye la capacidad biosorbente del biomaterial empleado. En consecuencia, los grupos funcionales que participan en la adsorción dependen del pH del medio (Chojnacka, 2005).
- Por otro lado, a pH alcalinos, los metales pueden precipitar y registrar una disminución de la concentración del metal libre en solución que no se debe a la biosorción.

Particularmente, la biosorción de Pb (II) presenta una ligera dependencia del pH, en comparación con otros metales estudiados (Areco, 2010; Santos, 2018).

Las principales ventajas de la técnica son:

- Los materiales adsorbentes son económicos y pueden obtenerse de residuos industriales, por lo que no se requiere una gran inversión económica en este aspecto.
- El estado de equilibrio, tanto de biosorción como de desorción, se alcanza muy rápidamente (Michalak, 2013).
- No se generan residuos secundarios (Oliveir, 2011).
- La técnica admite una recuperación del adsorbato: utilizando productos químicos no destructivos (por ejemplo, eluyentes como soluciones salinas, ácidos o álcalis), los metales adsorbidos puede intercambiarse por los protones presentes en la solución. Los ácidos, y particularmente la solución de HNO₃ 0,1 M, han dado buenos resultados sin dañar las superficies de los biosorbentes. Otros ácidos con buenos resultados en la desorción fueron HCl, HNO₃ y H₂SO₄, en concentraciones 1 M (Santos, 2018).

Por su parte, las principales limitaciones incluyen:

- En soluciones que contienen otros cationes, la biosorción se reduce considerablemente por un efecto de competencia y antagonismo entre los metales.
- A pesar de los numerosos estudios publicados sobre la biosorción, el proceso aún no se desarrolla a escala industrial. Esto se podría deber a varias limitaciones que dificultan el pasaje de escala laboratorio a escala piloto o industrial, entre ellas: (a) La cantidad de biosorbentes disponibles y la reproducibilidad en sus propiedades; (b) Los requerimientos de acondicionamiento del material para implementar el proceso a gran escala (por ejemplo, necesidades de pretratamiento y otras adaptaciones para implementar en sistemas de columnas); (c) La competitividad con los procesos convencionales existentes a gran escala.

Rizofiltración.

La rizofiltración es un método de remediación in situ u on site, que contribuye a disminuir la concentración del metal en el agua mediante absorción y adsorción en la rizósfera. La técnica emplea plantas en hidroponía, que se utilizan para absorber, concentrar y precipitar metales en las raíces. A grandes rasgos, se busca que las especies utilizadas presenten raíces de gran tamaño en comparación a su biomasa total, sean de rápida germinación y crecimiento, sean

autóctonas de la zona, resistentes a la contaminación presente en el lugar a remediar, y tengan un amplio espectro de remoción del o de los contaminantes a tratar a diferentes pH.

Para expresar en forma cuantitativa la bioacumulación, se puede recurrir al factor de bioacumulación (FB A), que se calcula como el cociente entre la concentración del metal en el tejido de un organismo (alcanzada mediante absorción directa) y su concentración en el agua (Dushenkov, 1995; Salt, 1997).

Entre las ventajas y desventajas de la técnica, pueden listarse las siguientes:

Ventajas:

- Generación de poca biomasa en poco tiempo, con igual reducción de contaminante
- Posibilidad económica de recuperar los metales retenido.
- En caso de utilizar una configuración on site, ante cualquier eventualidad puede bloquearse la entrada de agua y hacer mantenimiento o recuperación, sin poner en riesgo al sistema aguas abajo.
- Se trata de un sistema simple que puede utilizar plantas autóctonas, mejorando la calidad del ambiente sin poner en riesgo las redes tróficas ni al ecosistema local.

Desventajas:

- La eficiencia de remoción total será acorde a la superficie empleada, lo que puede presentarse como un limitante operativo importante.

Humedales artificiales.

De acuerdo al Inventario Nacional de Humedales (INH), se entiende por humedal a un “ambiente en el cual la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial, causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.). Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales. Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial libre o SFS, flujo horizontal sub-superficial o FWS o flujo vertical (Figura 8) (García Serrano, 2008). En la Figura 8 se describe gráficamente

Algunos rasgos distintivos de estas formaciones, incluyen:

- La presencia de biota adaptada a las condiciones del medio, comúnmente plantas hidrófitas (crecen en el agua o sobre zonas inundadas) y freatofitas (se abastecen del agua freática, con la que sus raíces están en contacto).
- Suelos hídricos, o sustratos con rasgos de hidromorfismo.
- Presencia de fauna endémica, adaptada a las peculiaridades del entorno.

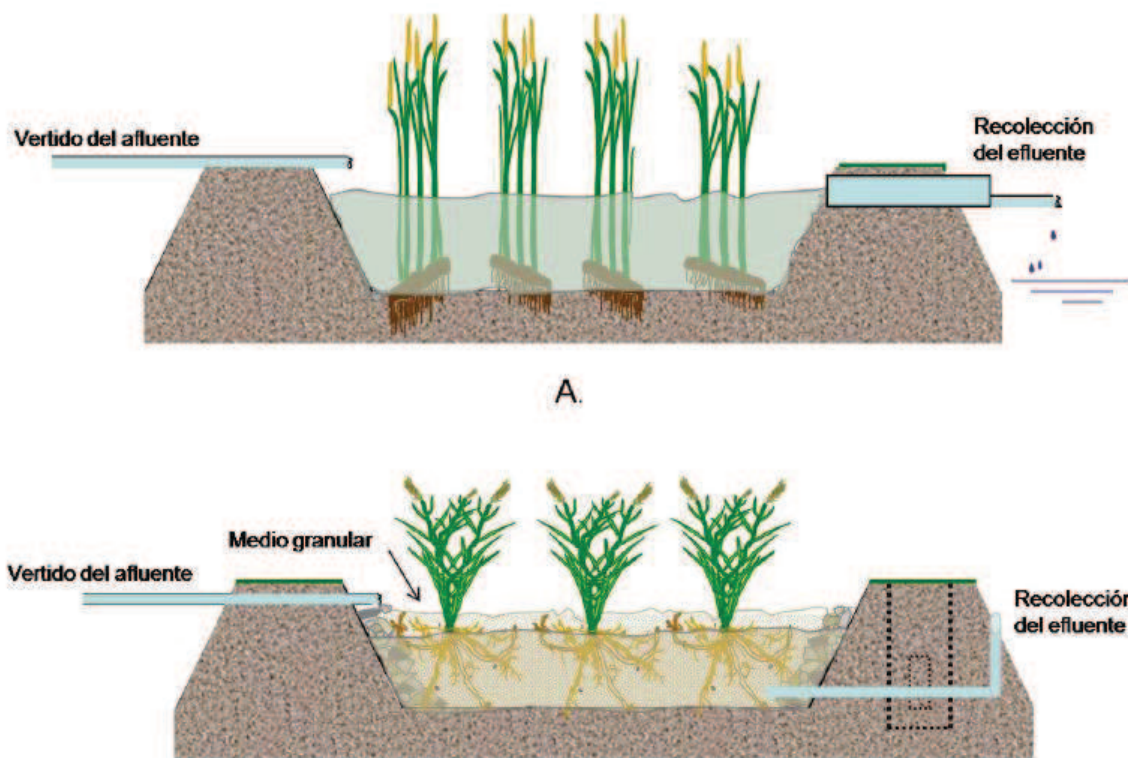


Figura 8. Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal.

Los humedales son ecosistemas dinámicos, caracterizados por su variabilidad temporal (estacional, interanual o irregular) y su conectividad con otros ambientes (debido al flujo de agua superficial y/o subterránea, al transporte de material, y al movimiento de organismos). Además de los servicios ecosistémicos que brindan, en estos sistemas se desarrollan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, capaces de remover sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes, patógenos, y sustancias tóxicas como los metales pesados. Entre otros, los mecanismos por los que se logra esta depuración comprenden (IAgua, 2013; Brix, 1997; Stottmeister, 2003):

- Fenómenos de filtración, que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.

- Acción descomponedora y desnitrificante de microorganismos (principalmente bacterias, aerobias o anaerobias).
- Absorción y asimilación de sustancias, por parte de las plantas.
- Fenómenos de sedimentación y adsorción, mayormente sobre la biota y componentes del sustrato.
- Quelación (compuestos orgánicos e inorgánicos atrapan y envuelven al contaminante),
- Transporte (el contaminante viaja de una parte de la planta a otra, retirándose del efluente y dejando paso a la absorción de otros contaminantes),

La figura 9, a continuación, contiene una representación de los mecanismos generales para la eliminación de contaminantes, en humedales artificiales:

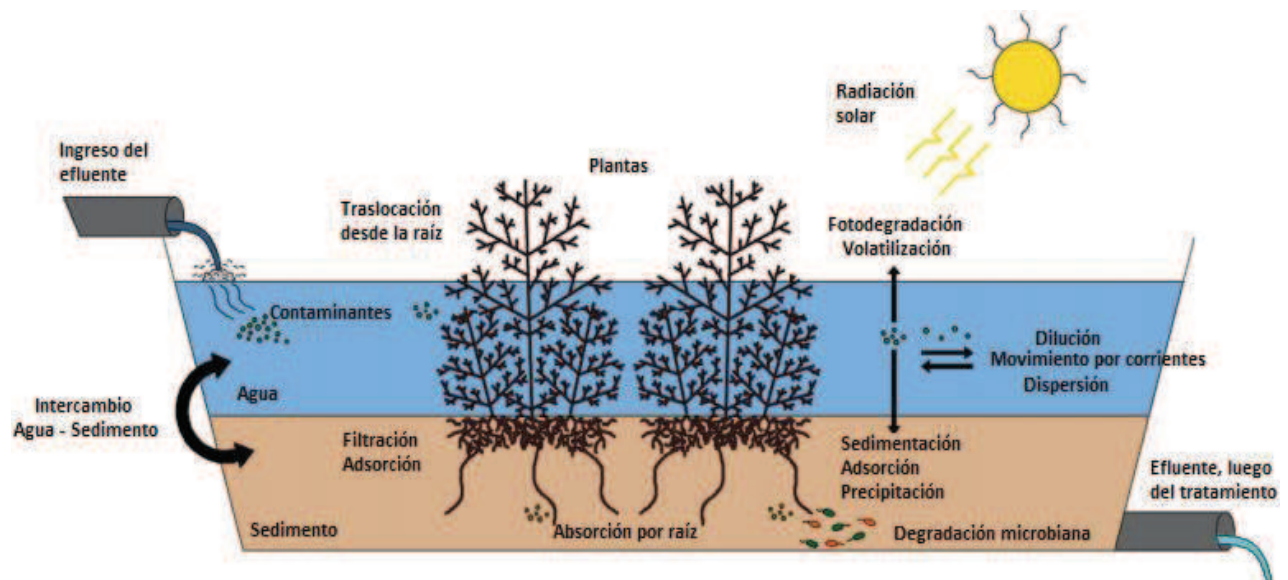


Figura 9: Mecanismos generales para la eliminación de contaminantes en humedales artificiales. Adaptado de Gorito et al. (2017)

En línea con lo anterior, los humedales artificiales buscan reproducir, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes, que ocurren normalmente en los humedales naturales. Suelen utilizarse para la depuración de aguas residuales en lugares donde no ha llegado la red cloacal. En la figura 10 se visualiza un esquema de los procesos de depuración y los contaminantes tratados que suele tener el agua de servicio.

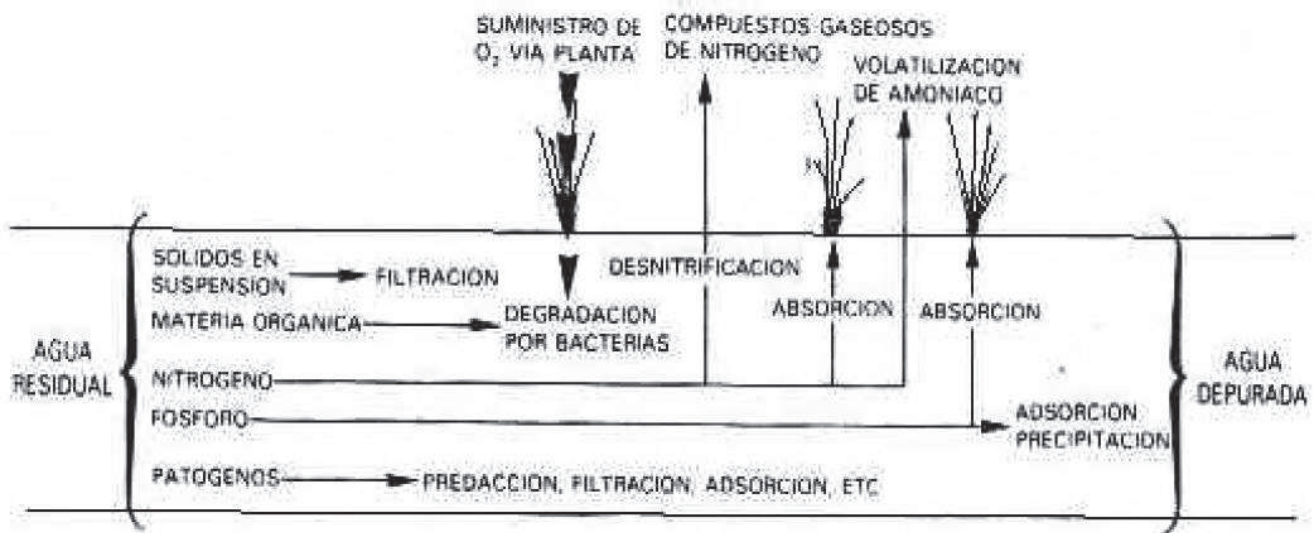


Figura 10. Esquema de los procesos que tratan a compuestos contaminantes del agua

Por su parte, la remoción de Sólidos en suspensión (SS), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (F) y Patógenos (Pat) se puede ver en la tabla IV (EPA/625/1-88/022)

Tabla V. Tratamiento de contaminantes varios en el humedal de aguas residuales (Elaboración propia)

Contaminante	Luego de tratarse	Observaciones
DBO	< 20 mg/l	El humedal genera su propia DBO
SS	< 20 mg/l	Ocurre entre el 12% y 20% inicial del área
N	> 80% de remoción	Depende de temperatura y DBO
F	30% - 50% remoción	
Patógenos	Muy variable	Depende de propiedades del agua residual y del humedal. Puede llegar a 10 NMP/100ml

Dependiendo del sentido de circulación del agua, estas técnicas de remediación pueden clasificarse en: Humedales artificiales de flujo libre o superficial (el agua circula por encima del sustrato, por lo que se favorecen las condiciones aerobias), y Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical u horizontal (el agua circula a través del sustrato, favoreciendo las condiciones anaerobias) (IAgua, 2013; Murray, 2005).

Los humedales presentan generalmente plantas macrofitas y microfitas, y microorganismos diversos que envuelven a la rizósfera (volumen de sustrato que envuelve la raíz donde se ubican microorganismos que interactúan con la macrofita y entre sí, beneficiándose mutuamente).

El humedal artificial no requiere amplios costos de operación ni mantenimiento, ya que la mayoría de los procesos los realizan las plantas y microorganismos del lecho.

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora.

En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua. La terminología utilizada para designar a los sistemas de flujo subsuperficial es particularmente confusa. Frecuentemente se utilizan indistintamente términos como filtros de plantas, filtros verdes, biofiltros, lechos de plantas y lechos de juncos, entre otros.

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son:

- Mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica),
- Bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y
- Menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible.

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales.

Humedales de flujo horizontal.

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m²×día.

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos: (1) estructuras de entrada del afluente, (2) impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, (3) medio granular, (4) vegetación emergente típica de zonas húmedas, y (5) estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

Impermeabilización.

Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas.

Estructuras de entrada y salida.

Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas. El agua residual procedente de los tratamientos previos se hace llegar hasta una arqueta donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho. Alternativamente se puede hacer llegar el agua hasta un canal con vertedero que la distribuye de forma homogénea en todo el ancho del sistema.

La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal. Esta tubería conecta con otra en forma de “L” invertida y cuya altura es regulable. Dicha estructura permite modificar el nivel de agua y a su vez drenar el humedal durante operaciones de mantenimiento.

Medio granular.

En las zonas de entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas de lo que es el medio granular principal. El conjunto medio granular/biopelícula/plantas debe ser considerado como el principal constituyente de los humedales.

En el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados.

Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él.

Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo.

Vegetación.

Todas estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora.

Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula.
 - La biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación.
- Amortiguamiento de las variaciones ambientales.
 - Cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación.
- Las plantas asimilan nutrientes.
 - Su contribución a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P). En aguas residuales diluidas su contribución es mayor (más del 50%).

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones:

1. Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.

2. Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
3. La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
4. Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
5. Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
6. Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
7. Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
8. Se deben utilizar especies propias de la flora local.

Humedales de flujo vertical

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno.

La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/m²×día. Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales (requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica). Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación

De forma similar a los humedales horizontales, los verticales están constituidos por los siguientes elementos: (1) estructuras de entrada del afluente, (2) impermeabilización, (3) medio granular, (4) vegetación y (5) estructuras de salida. Adicionalmente suelen incluir tuberías de aireación. Los aspectos relacionados con la impermeabilización y la vegetación son idénticos a los descritos para los sistemas horizontales en el apartado anterior (Figura 11).

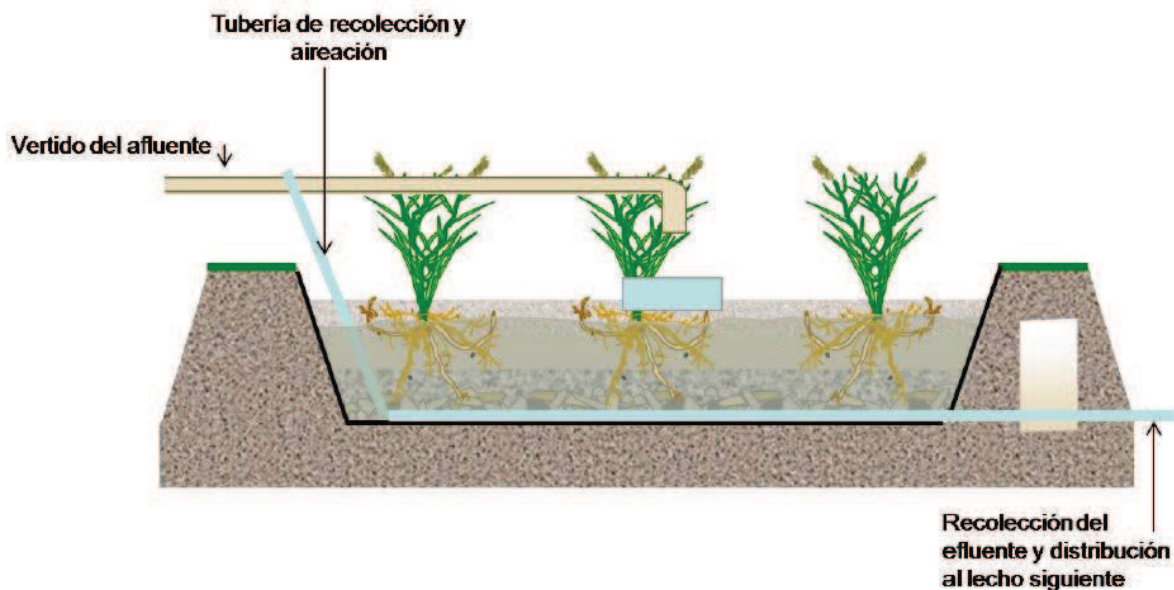


Figura 11. Humedal construido de flujo subsuperficial vertical

Estructuras de entrada y salida.

Es muy importante lograr una distribución y recogida del agua uniforme en toda el área del sistema. Para la distribución se utilizan redes de tuberías dispuestas sobre la superficie, ya sea en forma radial o a lo largo del lecho. Debido al flujo discontinuo, en climas fríos se suelen colocar enterradas en el lecho entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie con el fin de evitar la congelación.

La recogida del agua se realiza mediante redes de tuberías perforadas situadas sobre el fondo del lecho y a lo largo del mismo.

Medio granular.

Igual que en los sistemas horizontales, el medio granular debe ser limpio, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. En los humedales verticales el medio granular es de tipo heterogéneo ya que se disponen tres capas horizontales con distinta granulometría, la cual aumenta con la profundidad del lecho. La capa más superficial es de arena gruesa, la intermedia de grava y la del fondo de grava gruesa. Esta disposición se adopta para que el paso del agua por el lecho no sea excesivamente rápido o lento.

Tuberías de Aireación.

Estos elementos sirven para airear el lecho en profundidad y mejorar y favorecer así los procesos de degradación aeróbica y la nitrificación. En general, se recomienda la instalación de 1 tubería por cada 4 m².

Especies para el humedal.

Las especies utilizadas son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas. En Europa la planta más utilizada es el carrizo, con densidades de plantación de 3 ejemplares por metro cuadrado (Figura 12).

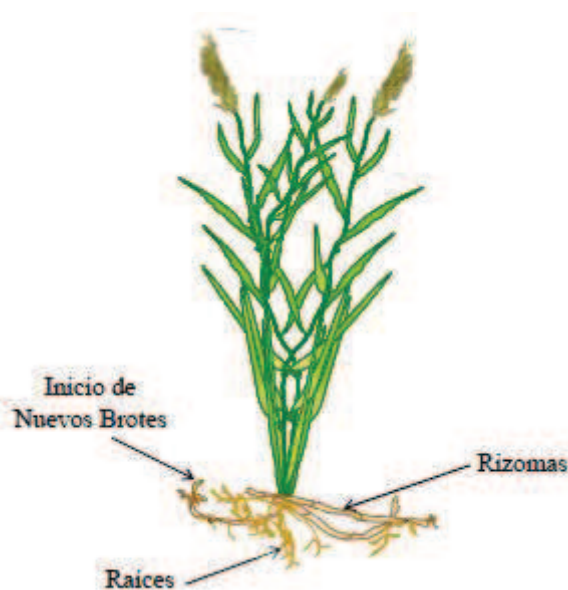


Figura 12. Dibujo esquemático del carrizo (*Phragmites australis*).

Entre sus ventajas y desventajas, pueden listarse las siguientes:

Ventajas:

- Se trata de un sistema económico, con operación simple
- Brinda servicios ecosistémicos, tales como la amortiguación de las inundaciones, la reposición de aguas subterráneas, la retención y exportación de sedimentos y nutrientes, y la provisión de hábitats para la diversidad biológica, entre otros (Inventario Nacional de Humedales).
- En caso de utilizar una configuración on site, ante cualquier eventualidad puede bloquearse la entrada de agua y hacer mantenimiento o recuperación, sin poner en riesgo al sistema aguas abajo.

Desventajas:

- Si bien no se requiere demasiado mantenimiento, debe preservarse la salud de los organismos que habitan el humedal. Entre otras cuestiones, puede ser necesario el complemento con nutrientes.
- Luego de cierto tiempo el sistema se satura, por lo que es necesario remover el humedal y dragar los sedimentos.
- La técnica requiere de un área libre y lindante al arroyo. Puesto que la eficiencia de remoción será acorde a la superficie empleada, este punto puede presentarse como un limitante operativo importante.

Tratamientos para remediación del sedimento

El plomo, cromo, cobre y otros metales pesados pueden ingresar a los cuerpos de agua a través de varias vías, tales como la deposición atmosférica, la descarga de aguas residuales, la erosión del suelo, la lixiviación por lluvia, entre otros. Una vez que han ingresado al cuerpo de agua, gran parte de estos contaminantes se depositan en los sedimentos, como resultado de la adsorción, precipitación, floculación y/o incorporación a las estructuras reticulares de minerales (Cai, 2019). Dependiendo de las características fisicoquímicas del medio, los sedimentos pueden actuar como el principal sumidero o bien como fuente de contaminación (Song, 2017), razón por la cual cobran particular importancia a la hora de remediar un ecosistema acuático contaminado.

Las técnicas de remediación de sedimentos suelen emplear las mismas tecnologías utilizadas para el tratamiento de suelos contaminados, aunque la prevalencia de la fracción fina y el mayor contenido de materia orgánica en los primeros, pueden influir en el rendimiento del proceso (Fraiese, 2020). Como ya se indicó anteriormente, las técnicas de remediación se clasifican en *in situ*, *on site* y *ex situ*:

- Las técnicas de remediación de sedimentos *ex situ* y *on site* tienen como objetivo extraer los metales del medio. Requieren el dragado del lecho del cuerpo de agua, un pretratamiento, y la posterior extracción del metal mediante una serie de métodos químicos, físicos y/o biológicos. Debido a sus altos costos y elevado riesgo (por ejemplo, mediante la liberación de contaminantes durante un dragado), su aplicación presenta ciertas limitaciones (Jacobs, 1999; Peng, 2009; Song, 2017; Wang, 2018).

- Por su parte, los métodos in situ apuntan a aumentar la estabilización de los metales presentes en el sedimento (mediante la inmovilización o recubrimiento). Se basan en mejorar las capacidades de absorción, precipitación y complejación de los metales, a modo de reducir su biodisponibilidad. Sin embargo, puesto que estas técnicas sólo modifican la movilidad de los metales pesados, no alteran su contenido total: si las características del medio se modifican, los metales inmovilizados pueden liberarse al agua (Jacobs, 1999; Peng, 2009; Song, 2017; Wang, 2018).

En la presente sección, se realizó una recopilación de las técnicas existentes para remediar metales pesados en los sedimentos.

Recubrimiento o “capping”.

El recubrimiento o “capping” consiste en la colocación de una o más cubiertas de material limpio o inerte, sobre el sedimento contaminado. Mediante este método, los metales contenidos en el lecho quedan aislados física y químicamente del medio acuoso, aumentando su estabilidad y disminuyendo la liberación de especies solubles a la columna de agua (EPA, 2005; Song, 2017; Wang, 2018). Simultáneamente, el recubrimiento a menudo proporciona un sustrato limpio para la recolonización por organismos que viven en el fondo.

Normalmente, el material de cobertura suele ser sedimentos limpios o arena. Un compuesto que ha reunido gran interés en su potencial aplicación para capping es el biocarbón (“biochar”), que tiene buena capacidad de adsorción de contaminantes debido a su gran superficie específica, estructura porosa, y grupos funcionales activos. Si bien su aplicación ha sido aún limitada, se considera que posee un gran potencial para ello. Entre las principales ventajas, se encuentran su bajo costo y estabilidad (Zhang, 2018; Wang, 2018).

Frecuentemente, el material usado como capa activa corre el riesgo de ser arrastrado por la corriente. Por este motivo, se tiende a aplicar una o más capas de materiales soportes densos, que evitan la pérdida y erosión de la capa activa (Wang, 2018). Cabe destacar la necesidad de preservar una profundidad mínima del cuerpo de agua, para la navegación o el control de inundaciones. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2005), el grosor debe rondar los 50 cm.

La figura 13 muestra un ejemplo de capping, en el que se utilizan distintas capas activas (arena y biocarbón) y un material soporte (grava).

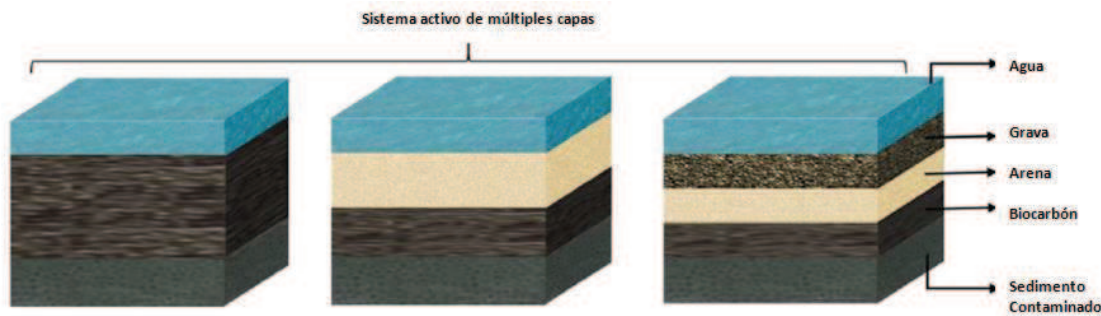


Figura 13. Modelo del capping con biocarbón (“biochar”) y otros materiales. Adaptado de Wang (2018).

Entre las principales ventajas se encuentran:

- Una reducción rápida de la exposición a los contaminantes.
- Capacidad para retener contaminantes en el mediano y largo plazo, aún en presencia de matrices complejas.
- Menor necesidad de infraestructura, en términos de manipulación, deshidratación, tratamiento y eliminación de materiales.
- Amortiguación de los riesgos asociados con la dispersión de contaminantes, ya que la construcción del recubrimiento es menos riesgosa que el dragado, transporte y manipulación de sedimentos contaminados.
- Menor costo económico que los métodos ex situ, debido a la ausencia de operaciones como el dragado y pretratamiento.

En cambio, las desventajas más destacables incluyen:

- La permanencia del sedimento contaminado en el ambiente: Si el recubrimiento se altera o bien ocurre una variación del medio, los contaminantes podrían quedar expuestos o dispersarse nuevamente en la columna de agua.
- La falta de estudios que evalúen la inmovilización de los metales en el largo plazo.
- La necesidad de realizar mantenimientos o reemplazos periódicos de la capa.
- La dificultad de colocación del recubrimiento con precisión, en un entorno acuoso dinámico. Una mala colocación puede llevar a un arrastre y movimiento dentro de la columna de agua.

- La modificación de las condiciones naturales de la vida acuática: En algunas situaciones, los materiales superficiales de la capa no proporcionan un hábitat adecuado.

Enmienda o “Amendment”.

Las enmiendas son materiales que se introducen directamente en los sedimentos (o bien sobre ellos, como en la remediación por recubrimiento), y que gracias a su capacidad de intercambio catiónico causan la precipitación y/o sorción de los metales. Como consecuencia, disminuyen la solubilidad, la biodisponibilidad, y retardan la transferencia de dichos metales al agua (EPA, 2005).

Para el caso particular, el método más común de tratamiento con enmiendas es su aplicación directa sobre los sedimentos. Diversos materiales pueden utilizarse con este objetivo, incluyendo la combinación de biocarbón con clorapatita (material fosfatado, capaz de formar compuestos de fosfato-Pb como piromorfita) (Huang, 2018).

A grandes rasgos, la técnica comparte las mismas ventajas del método de recubrimiento, y agrega otras dos (EPA, 2005):

- En primer lugar, la aplicación directa requiere menor inversión económica.
- En segundo lugar, modifica menos la profundidad del cuerpo de agua.

De manera similar, las desventajas del uso de enmiendas son las mismas que las del método de recubrimiento, siendo la principal que no se logra eliminar al contaminante, sino sólo su inmovilización, lo cual esconde un elevado riesgo potencial. Además, agrega como limitación la posibilidad de generar una mayor modificación de las condiciones hidrológicas, dependiendo de las enmiendas empleadas. Por ejemplo, con algunas enmiendas puede darse una liberación de fósforo y materia orgánica (Huang, 2018).

Técnicas de remediación empleando nanomateriales.

El término nanomaterial se refiere a una sustancia o conjunto de sustancias en la escala de los nanómetros, donde los constituyentes son átomos y/o moléculas (Salcedo, 2018). Debido a sus elevadas superficies específicas, estabilidad térmica, y química superficial particular, estos materiales pueden utilizarse como adsorbentes y catalizadores para estabilizar sistemas contaminados con metales pesados (Cai, 2019).

Dependiendo del nanomaterial en cuestión, los principios de acción y sustancias objetivo varían. En particular, las siguientes sustancias suelen emplearse en la remediación de sedimentos contaminados con metales pesados (Cai, 2019):

- Hierro cero-valente a nanoescala (nZVI, por sus siglas en inglés): se trata de una estructura conformada por un núcleo de hierro metálico (mayormente hierro cero-valente), y una coraza compuesta por óxidos de hierro (principalmente FeOOH). El núcleo desempeña un papel como donante de electrones, mientras que la capa actúa como un aceptor, permitiendo que se produzcan reacciones de adsorción y complejación superficial. Estas nanopartículas no solo adsorben iones de Pb, sino que también los reducen a Pb (0) (Calderon, 2015; Nurmi, 2005; Jabeen, 2013).
- Nanohidroxiapatita (nHAP, por su siglas en inglés): se trata de un material basado en nano-apatita, cuya composición química aproximada es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Los mecanismos dominantes para la remediación de metales son la disolución de nHAP y la precipitación de hidroxipiomorfita. En menor medida, también pueden estabilizarse por la formación de complejos y sustitución isomórfica (Zhang, 2010).
- Nanoclorapatita estabilizada (nCLAP, por sus siglas en inglés): se trata de un material basado en nano-apatita, cuya composición química aproximada es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{Cl})_2$. La inclusión de estabilizadores disminuye la agregación de las partículas nCLAP y mejora la eficiencia de inmovilización de metales pesados (Keochaiyom, 2017). Al igual que en el caso de nHAP, los mecanismos dominantes para la inmovilización de Pb son la disolución de nCLAP y la precipitación de $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ (Cai, 2019).
- Nanotubos de carbono (CNTs, por sus siglas en inglés): debido a su gran área superficial, a los grupos funcionales en la superficie, y a su porosidad, entre otros rasgos, los CNT se utilizan como adsorbentes de metales pesados en sedimentos. Los mecanismos de acción son complejos, e incluyen precipitación, adsorción física, atracción electrostática e interacción química entre los iones de metales pesados y los grupos funcionales superficiales de los CNT (Li, 2003; Liang, 2015; Ren, 2011).
- Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2 NPs, por sus siglas en inglés): la atracción electrostática, la gran área superficial, y el pequeño tamaño de las TiO_2 NPs, son algunas de las razones dominantes por las que se los emplea como adsorbentes de metales pesados (Nguyen, 2003).

A grandes rasgos, las características únicas de los nanomateriales los vuelven excelentes adsorbentes de cationes metálicos. Sin embargo, su aplicación en un ecosistema acuático presenta ciertos inconvenientes:

- Los nanomateriales utilizados en la remediación de sedimentos no se separan fácilmente. Por este motivo, las opciones para remover el Plomo, Cobre y Cromo son limitadas, y un cambio en las condiciones del medio pueden llevar a la liberación del metal estabilizado (Cai, 2019).
- La materia orgánica presente en los ecosistemas acuáticos (principalmente las sustancias húmicas) pueden competir con los metales por los sitios activos, disminuyendo la eficiencia del tratamiento (Cai, 2019).
- Una vez transportados al ambiente, los nanomateriales pueden ejercer toxicidad sobre diversos organismos, así como también alterar la biodisponibilidad de otros contaminantes (tales como los metales pesados) (Hu, 2011).
- El empleo de materiales con fosfato (tales como nHAP o nCLAP), puede llevar a un fenómeno de eutrofización por exceso de fósforo en el medio acuático (Yang, 2016).

Lavado (washing) y Lixiviado (leaching).

La liberación de los metales pesados al compartimiento líquido de un cuerpo de agua superficial, y los consecuentes procesos de transporte, se ven influidos por las características particulares del compuesto y por su afinidad para unirse a superficies reactivas en la matriz del suelo y en la matriz acuosa. Diferentes condiciones pueden alterar la proporción del contaminante que se encuentra en los sedimentos o en el agua, tales como el pH, el potencial redox, el contenido de materia orgánica, la presencia de arcillas, entre otras (Dijkstra, 2004). Las técnicas de lavado y lixiviación modifican las propiedades del medio antes mencionadas, con el objetivo de concentrar los compuestos de interés en la solución líquida, para su posterior remoción.

El lavado es una tecnología ex situ, en la cual el sedimento contaminado se somete a un dragado y otros pretratamientos, para luego ser tratado con un agente de lavado. El objetivo es disolver, suspender o desorber el contaminante, logrando así su transferencia a la fase acuosa (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

A grandes rasgos, el proceso se estructura en las siguientes etapas:

- Dragado: extracción del sedimento contaminado.

- Pretratamiento: el sedimento se tamiza para retirar los objetos de mayor tamaño, como rocas y residuos sólidos y se somete a un secado (Fundación Chile, 2019).
- Lavado: el sedimento seco ingresa a unidades de lavado, donde se mezcla con agua y agentes químicos (tales como soluciones ácidas para incrementar la solubilidad de los metales, agentes quelantes como el EDTA, sustancias tensioactivas como el ramnolípido, entre otros). Los agentes de extracción a utilizar dependen de varios factores, incluida la naturaleza de los contaminantes que se eliminarán, el tipo y extensión de sus interacciones con la matriz sólida, los niveles de contaminación, la presencia de especies que interfieren o compiten, así como las condiciones operativas (pH, potencial redox, tiempo de residencia) del tratamiento de lavado, entre otras (Fundación Chile, 2019). En particular, el EDTA y el ramnolípido son muy utilizados para extraer los metales de la solución.
- Enjuagado: al finalizar el lavado del sedimento, la fase líquida se envía a una planta de tratamiento de aguas, mientras que la fase sólida se enjuaga nuevamente con agua limpia (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

De manera similar, la lixiviación de los sedimentos busca extraer los metales a partir de minerales y/o concentrados que los contienen (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007). Esta técnica suele basarse en reacciones in situ, aprovechando algún sustrato presente en la matriz (como sulfuros y carbonatos). Cuando el metal está simplemente adsorbido a una superficie, el proceso de lixiviación es prácticamente idéntico al del lavado.

Las principales ventajas de estos procesos son:

- La simplicidad técnica.
- La capacidad para remover metales del sedimento, evitando riesgos de re-liberación del metal al ecosistema.
- La posibilidad de recuperación del contaminante de la solución final obtenida.

Por otra parte, las principales desventajas incluyen:

- La necesidad de dragar y remover el sedimento, lo cual encarece la técnica.
- La necesidad de realizar lavados secuenciales para tratar matrices complejas, lo cual aumenta el uso de agentes de lavado, que pueden ser costosos o dañinos para el ambiente.
- El requerimiento de grandes volúmenes de agua.

- La generación de efluentes con remanentes de agentes de lavado (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007; Fundación Chile, 2019).

Electrocinética.

La electrocinética es una técnica de remediación para suelos o sedimentos, en la que se emplea una corriente baja para inducir un campo eléctrico, con el objeto de permitir el transporte iónico a través de los poros de la matriz. Metales pesados se pueden remover en forma efectiva mediante la utilización de este método. Se aplica generalmente ex situ, aunque también puede implementarse in situ (Kim, 2011).

Cuando se induce un campo eléctrico en el sedimento contaminado, ocurre una migración de iones: Los cationes son atraídos por el cátodo, y los aniones se mueven hacia el ánodo. Adicionalmente, sustancias neutras se transportan junto con el flujo de agua producido. La dirección y la cantidad del contaminante removido depende de la concentración de contaminante, el tipo de sedimento, la estructura, entre otros factores (Virkyute, 2002).

El desafío principal de la tecnología electrocinética es la conversión de contaminantes poco solubles en formas móviles para su posterior extracción. Generalmente, se añaden agentes que mejoran la efectividad del proceso: Las sustancias ácidas mejoran la solubilidad de metales y su transporte al cátodo; Los agentes complejantes liberan metales unidos al sedimento; entre otros (Benamar, 2019). Para el caso particular del plomo, estudios mencionan que se obtienen buenos resultados con el agregado de ácido acético y EDTA (Li, 2014), o bien ácido cítrico y Tween 20 (emulsionante no iónico, utilizado en la industria alimentaria) (Benamar, 2020).

Entre las ventajas y desventajas de la técnica, pueden listarse las siguientes:

Ventajas:

- Tiene una alta posibilidad de recuperación de metales pesados en solución.
- Como es una técnica ex situ, permite la eliminación del metal del sistema de estudio.

Desventajas:

- La gran dependencia de las condiciones ácidas del medio, que puede ser difícil de lograr cuando la capacidad buffer es alta. Además, la acidificación del sedimento puede tener consecuencias negativas para el ambiente.
- Los largos tiempos requeridos para el tratamiento (como mínimo varios días).
- La dificultad por remover contaminantes en fracciones poco solubles.
- La gran demanda energética, lo que encarece el método y genera emisiones de gases de efecto invernadero.

Proceso de selección de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento deberá satisfacer la remoción de sólidos flotantes, como ramas, bosta o bolsas de residuos, sólidos suspendidos y compuestos solubilizados en el efluente. Se seleccionará entonces un tren de procesos de remediación que separe del cauce lo más grande primero, lo suspendido luego y finalmente los compuestos solubilizados. Dichos compuestos serán tratados como un tratamiento secundario, completando la remediación del arroyo con una adecuación mediante un tratamiento terciario.

Comparación de los métodos de remediación

Los métodos propuestos son aplicables para dar solución a la problemática, pero para el caso propuesto, los mismos deberán satisfacer los siguientes criterios:

- El sistema de tratamiento debe preceder a fuentes de contaminación en lugar, tiempo u ocasión, y debe hacerlo de manera que la contaminación del agua justifique la remediación en valores monetarios y de preservación del ambiente y las personas.
- Los compuestos aquí estudiados deberán ser removidos del sistema, según aplica la normativa vigente, pero se preferirán los tipos de remediación de espectro más amplio o que pudieran extender su amplitud, para favorecer la remoción de otros compuestos o mejorar la del compuesto en cuestión.
- El sistema deberá contar con la autorización y validación de la autoridad de aplicación ambiental del lugar y del municipio donde se encuentre. De manera continua a este

punto, se tendrán mejor vistos los sistemas de remediación que no incorporen la adición de sustancias químicas o físicas que atente contra la situación actual del efluente.

- Tanto la información previa del sistema de tratamiento como los casos de éxito en medios semejantes al estudiado promoverán la selección de dicho sistema sobre los demás.
- La ubicación del sistema de remediación deberá ser definida según el valor de importancia que posean las tierras, personas o bienes materiales aguas abajo de ésta.
- El sistema de tratamiento deberá ser afín al medio fisicoquímico, es decir, deberá poder realizarse a pH y temperatura del lugar y deberá tener en cuenta todos los parámetros propios del lugar y del agua, de manera de no generar un impacto negativo en el efluente ni en el ambiente.
- El sistema de tratamiento deberá ser afín al medio biológico, es decir, todo lo que se retire o sume al sistema deberá tener en cuenta tanto la micro y macrobiota, animal, vegetal y otros, y sus interrelaciones, de manera de no alterar negativamente el medio ambiente circundante al arroyo al tratar de reparar un daño ya instalado. En este aspecto, el agregado de flora y fauna deberá ser autóctona al lugar de emplazamiento, el agregado de compuestos químicos deberá ser neutralizado antes de salir del sistema de tratamiento, y la infraestructura general del sistema no deberá disminuir las interrelaciones ni generar movimientos impropios de poblaciones en el medio ambiente circundante.
- El sistema de tratamiento deberá ser afín al medio social al que se inserta, de manera de que el mismo aumente la calidad de vida de las y los vecinos que rodean al mismo, y a las personas aguas abajo. En este aspecto, es fundamental que el sistema no genere olores fuertes ni nauseabundos, no atraiga vectores, provea un paisaje agradable y sea, en lo posible, fuente de trabajo y mejore el nivel general de vida.
- Todo agregado de compuestos no naturales o exóticos al ambiente circundante deberá ser previamente ensayado en modelo escala para asegurar que la estabilidad del medio no es alterada.
- Una vez tratados, los contaminantes deberán confinarse o permanecer inactivos e inmóviles, sin capacidad de mutar hacia otros compuestos o ser reabsorbidos por el sistema.
- El sistema de remediación deberá tener el objetivo secundario de recuperar los compuestos contaminantes que puedan ser recuperables o disponer de los medios para

la recuperación por parte de terceros, de manera de no generar residuos que puedan contaminar otro lugar.

- Para garantizar el agua limpia de contaminantes, se deberá contemplar todo el volumen de agua a pasar por el sistema de tratamiento.
- Se realizarán todos los cuidados necesarios que garanticen la seguridad del sistema de remediación, así tanto como su rendimiento y preservación en el tiempo.
- Si hubieran varias fuentes de contaminación y varios focos importantes (bienes materiales o personas) se podrán realizar varios sistemas de remediación a lo largo del cauce del río.

En la tabla VI se efectuó un resumen de las técnicas antedichas para comparar sus ventajas y desventajas.

Habiendo ya caracterizado cada técnica de remediación y estableciendo los criterios generales que deben satisfacer para este proyecto en particular, en la tabla V se trató de asignar un puntaje de 1 a 10 a características que deben ser tenidas en cuenta para seleccionar la tecnología que mejor se adecúa a este caso, siendo 1 una característica que no se adecúa y 10 una característica muy alineada con el proyecto. A los puntajes totales se les aplicó un formato condicional para determinar el método que mejor aplica (señalización con los colores del semáforo: verde tiene mayor puntaje, amarillo tiene puntaje medio y rojo el menor puntaje) y para ver la dispersión general de cada medio físico. Se trató de caracterizar bajo todos los puntos de vista posibles, teniendo en cuenta factores ecosistémicos, ambientales más generales, económicos y sociales.

Tabla VI. Ventajas y desventajas de las técnicas de remediación (Elaboración propia)

Técnica	Matriz	Ventajas	Desventajas
Adsorción con Dolomita	Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo Costo. - Procedimiento Básico - No genera biodisponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo rango de remediación ante otros contaminantes - Gran generación residuos especiales - Alcaliniza las aguas ==> Cambia condiciones del agua
Biosorción con microorganismos	Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos - Rapidez (horas) - Posibilidad de recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la adsorción por competencia con otros iones - Técnica en escala laboratorio
Rizofiltración	Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos - Rapidez (horas) - fácil Implementación - Bajo Mantenimiento - Facilmente Replicable 	<ul style="list-style-type: none"> - Saturación ante concentraciones altas
Humedales artificiales	Agua	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos - Rapidez (horas) - Implementación - Mantenimiento - Investigaciones - Replicación 	<ul style="list-style-type: none"> - Saturación ante concentraciones altas (No Aplica) - Riesgo ante enfermedades - Requerimiento de espacio - Potencial necesidad de nutrientes
Recubrimiento o "capping"	Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos - Múltiples Beneficios - Largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad a pH ácidos - El contaminante permanece en el sistema - Método muy reciente
Enmienda o "Amendment"	Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos - Menor perturbación a las condiciones hidrológicas 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiempo (semanas) -No elimina a los contaminantes -Técnica en escala laboratorio
Nanomateriales	Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Especificidad con el compuesto de interés 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo rango de remediación ante otros contaminantes - Posiblemente tóxico frente a diversos microorganismos. - Puede liberar al contaminante si cambian las condiciones del medio
Electrocinética	Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad de Remoción - Matriz (Sedimento) - Cantidad de Contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos - Tiempo - Necesidad de Medio Ácido
Lavado	Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo (horas) - Elimina metales pesados - Permite utilizar el suelo nuevamente 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayores costos -Dificultad operacional

Tabla VII. Puntuación de los métodos de remediación según características del modelo (Elaboración propia)

Características	Tratamiento de agua			
	Adsorción con dolomita	Biosorción por microorganismos	Rizofiltración	Humedad artificial
Bajo costo de implementación	8	8	7	7
Bajo costo de operación / mantenimiento	9	9	8	8
Requerimiento de espacio	6	6	5	2
Remediación DBO, Fósforo, Cromo, Plomo y Cobre	4	9	9	10
Amplio espectro de remediación	5	7	8	10
Puede realizarse al pH y temperatura del medio en estudio	5	8	7	10
Puede no alterar el medio biológico	8	8	10	10
Admisible a la sociedad (olor, apariencia)	7	10	10	10
Larga durabilidad	10	9	9	9
Rapidez de la técnica	9	8	10	10
Recuperación del contaminante / de los contaminantes	8	10	10	10
El contaminante es removido del sistema (agua / sedimentos)	10	10	10	10
No genera biodisponibilidad	10	6	5	5
Estudios en escala real	4	6	6	8
No existe posibilidad de generar impactos negativos	6	6	8	9
Baja capacitación al personal / No requiere estudios técnicos	9	7	7	7
Total	118	127	129	135

Nota: El puntaje obtenido de cada técnica fue otorgado por el autor basándose en el caso de estudio, en las ca

De la tabla podemos extraer, prematuramente, las siguientes conclusiones:

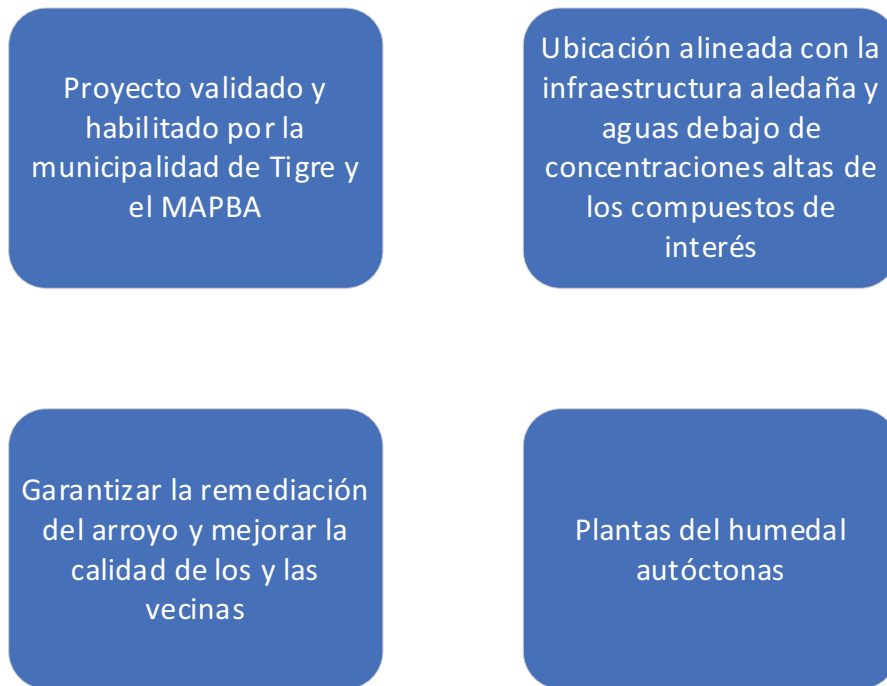
1. El método más afín para este tratamiento es la remediación por humedales, seguido de tratamiento por rizofiltración y biosorción por microorganismos.
2. Los métodos que mejor se adecuaron fueron los de remediación de agua. Esto es esperable al ser el modelo un arroyo con entrada constante de contaminante y posible sedimentación del exceso.
3. Dentro de la remediación del sedimento, el lavado y lixiviado fue la técnica más alineada, aunque no mejor que cualquiera de los métodos para tratamiento de aguas.
4. La diferencia entre la técnica con mayor y menor puntaje fue de 56 puntos. Esto es un 42% de la técnica mejor puntuada (128 puntos), lo que habla de una gran dispersión entre las técnicas.
5. La diferencia entre las técnicas de mayor y menor puntaje en remediación de agua fue de 15 puntos. Esto representa un 11%, valor bajo, lo que indica que cualquier técnica de agua es semejante en afinidad y podría ser tratada en el proyecto con resultados comparables.
6. La diferencia entre las técnicas de mayor y menor puntaje en remediación de sedimentos fue de 43 puntos, valor que representa un 36% del mayor puntaje en sedimentos (Lavado y lixiviado, con 120 puntos). Ese porcentaje es bastante alto, lo que demuestra una amplia diferencia en afinidad entre estos métodos de remediación.

Con la clasificación realizada, deberemos seleccionar el sistema de tratamiento adecuado para la remediación.

Selección del sistema de tratamiento secundario

Por la tabla V y sus conclusiones, se entiende que la técnica que mejor se alinea es la remediación mediante la construcción de un humedal que abarque también el método de rizofiltración y biosorción por microorganismos dentro del rizoma, eligiendo especies de plantas que se adecúen a ambas tecnologías. Estas técnicas deberán ser afines, también, a la opinión de las y los vecinos de la zona, ya que serán ellos los que vivirán con la infraestructura de la misma.

El sistema de remediación deberá contar con las siguientes características, de manera de cumplir con los puntos antedichos en la selección de la metodología:



Las plantas del humedal tienen un tiempo de saturación, en el que ellas no pueden biosorber más contaminante del medio. Como las plantas al principio del corredor tienen más “disponibilidad” de contaminantes en agua, son las que antes llegan al umbral de saturación en el cual dejan de biosorber el contaminante. Las plantas iniciales saturarán antes que las siguientes, con lo cual serán las primeras en ser retiradas para el proceso de recuperación del suelo donde ellas se encontraban. Se propone entonces un proceso continuo mostrado en la Figura 14 (de plantación – ambientación – biosorción – saturación – retiro – plantación) que trataría los contaminantes del efluente al mismo tiempo que vería posibilidades de recuperación. En el mismo se observa una plantación en hidroponía para crecimiento rápido de las que serán las plantas remediadoras. Una vez madurado el retoño, se planta en el suelo limpio del humedal y empieza a correr el agua del arroyo por sobre él (humedal operativo).

Cabe aclarar que no se registró bibliografía apropiada para la recuperación metales por lixiviación de plantas, suelo y sedimentos. Este proyecto final integrador deja abierta a la investigación sobre este tema, para ser desarrollado en estudios futuros.

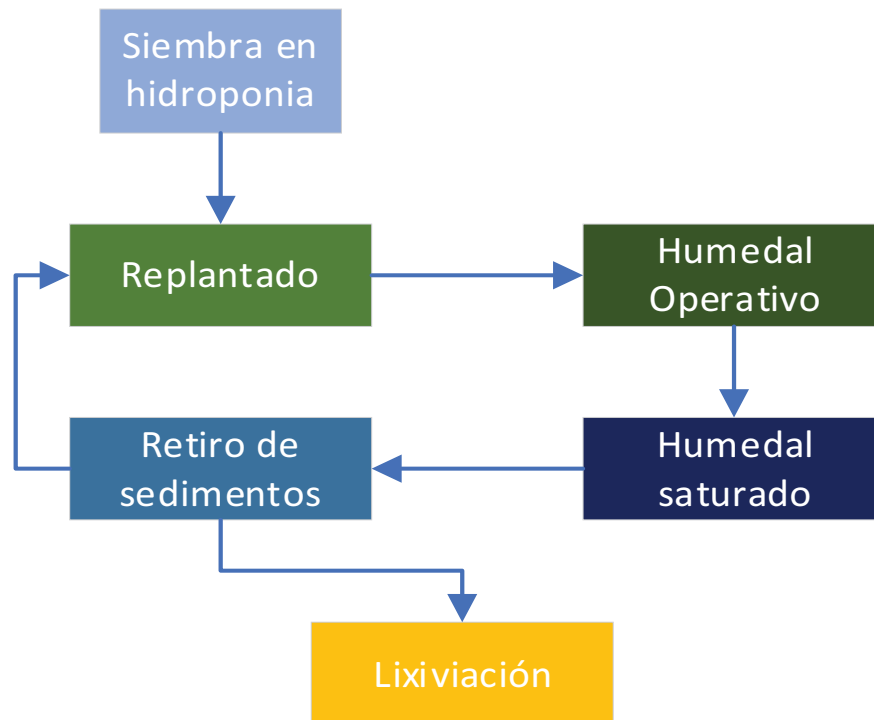


Figura 14. Ciclo del humedal, desde el plantado hasta el retiro de sedimentos (Fuente: Elab. propia)

Descripción de las variables para el tratamiento

Las variables para el tratamiento son las condiciones que se deben parametrizar y ajustar para lograr los objetivos propuestos. Los métodos de remoción de la planta requieren de características físicas para que puedan ser utilizados debidamente, y éstas dependen de parámetros que se citan a continuación.

Emplazamiento de la planta de tratamiento.

Luego de recorrer el arroyo, se determinó que la mejor ubicación para esta planta será al final de la fábrica Ford. Este lugar fija el fin de terrenos industriales y da comienzo a zonas netamente residenciales, por lo que el agua no sufrirá aumentos de contaminación industrial aguas abajo. El sector fue decidido también con la incógnita de no saber la ubicación precisa de los vuelcos ilegales de los contaminantes a tratar y otros contaminantes al arroyo; al terminar la zona industrial, se entiende que no habrá aumentos significativos de contaminación aguas abajo. Asimismo, esta zona cuenta con áreas públicas y privadas extensivas, sin edificaciones, lo que abarata la compra. Por último, la zona se aleja de la población hacia el sur, por lo que el establecimiento de una planta de tratamiento (plausible de malos olores, ante una mala gestión o error humano) puede estar constituido lejos de los vecinos, disminuyendo el impacto de este

proyecto sobre ellos. Para comunicar la planta con calle para el paso del personal se requerirá de un puente entre la calle O'Higgins y el lugar.



Figura 15. Área dispuesta para la planta de tratamiento (en blanco). En azul, el arroyo El Claro (fuente: elaboración propia).

Caudal ingresante.

El caudal de la planta será, primariamente, la totalidad del transportado por el arroyo en el ingreso a la planta de tratamiento. El mismo tiene variaciones tanto diarias como anuales, sean estas causas las crecidas por lluvias, bajadas por evaporación o por tomas excesivas.

El arroyo El Claro presenta un bajo caudal, con amplios valles de inundación, y una fuerte dependencia al régimen de lluvias locales (Atlas del Conurbano Bonaerense, 2011). De acuerdo a un estudio realizado por O'Farrell et al (2002), dicho curso de agua presenta una velocidad promedio de 0,8 m/s, y un caudal medio de 2,4 m³/s (valores obtenidos a partir de promediar cuatro mediciones sobre las aguas del arroyo El Claro).

$$Q_{0med} = 2,4 \frac{m^3}{s} = 8.640 \frac{m^3}{h}$$

Se realizará el estudio para el caudal total del arroyo debido a que tomar solo una parte no resuelve el problema de su contaminación. Igualmente, viendo la extensión que ello abarcaba,

se tuvo en consideración luego el espacio dado inicialmente para realizar la planta de tratamiento y se calculó, en base al espacio, cuanto contaminante podría remover del agua esta alternativa.

Tomaremos un $Q_{\text{diseño}}$ de $9.500 \frac{m^3}{h}$, un 10% más que el promedio. En caso que el caudal real exceda el mismo, previo al ingreso se hará un bypass únicamente para el exceso de efluente.

El arroyo El Claro y los alrededores no presentan datos de variación de caudal, por lo que se tomarán datos de un estudio sobre el Río Luján que revelan una variación media de 13,9% (Caro, 2016). El caudal anual con sus máximos y mínimos se visualiza en la figura 14.

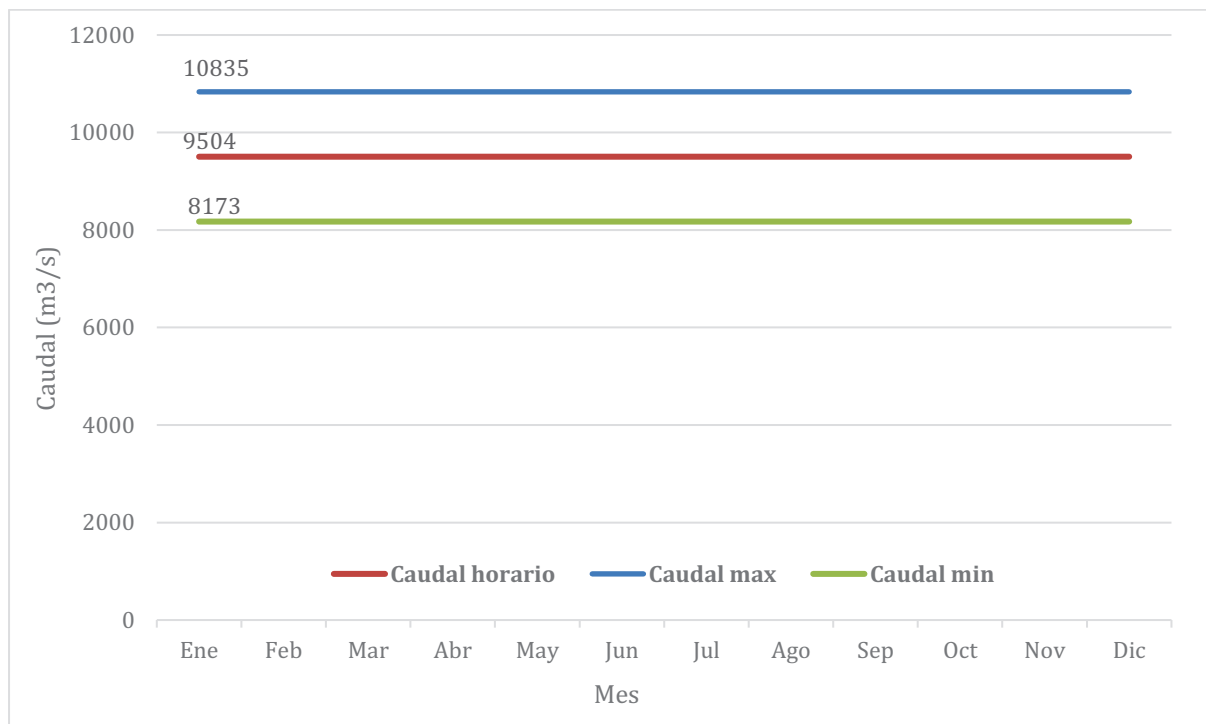


Figura 16. Caudal horario del arroyo (Elaboración propia).

Concentración de los contaminantes en el arroyo.

En el sector donde se propone hacer la remediación se retiró la Muestra 4 (M4), la cual se marca en verde en la Tabla VIII. La misma es un recorte de la Tabla I, donde se separaron los contaminantes de interés del total de compuestos analizados para tener una mejor visión de las concentraciones que deberemos remediar. Dichos valores serán los medidos en la Muestra 4

Tabla VIII. Concentraciones en los distintos puntos de muestreo (Elaboración propia).

Parámetro	Metodología Aplicada	Unidad	LD	LC	Muestras					
					M1	M2	M3	M4	M5	M6
CROMO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	1,1	21,7	2,6	3,3	2,1	2,1
PLOMO	EPA 6020 B	ug/L	0,05	0,1	1,5	35,7	6,5	6,3	2,1	2,1
COBRE	EPA 6020 B	ug/L	0,5	1	9,0	43,7	3,7	7,4	15,1	3,6
FÓSFORO TOTAL	EPA 6020 B	mg/L	0,05	0,1	2,3	32,3	15,0	10,0	4,9	5,1
DBO	SM 5510	mg/L	10	30	284	641	261	178	310	281

Dado que puede haber fluctuaciones en la concentración de los mismos, por aumento de temperatura, que podría variar la K cinética y aumentar (por Le Chatelier) la concentración soluble de metales, o por oscilaciones de pH (esto no fue medido, pero dado la importancia de la contaminación es factible el vertido de soluciones que acidifiquen el medio, proporcionando las condiciones para aumentar los metales en solución), se modelará con un valor mayor al postulado. No obstante, según Márques-Reyes (2020), el Cromo en solución aumenta la biosorción del Plomo, por lo tanto, la cantidad de concentración en las plantas antes de llegar a la saturación será mayor y el sistema podrá contar con una cantidad mayor (no valorizada) de metales biosorbidos en las plantas del humedal.

Descripción del sistema de tratamiento

Caracterización del sistema de tratamiento.

Debido a la calidad del afluente, los materiales que trae (bosta, bolsas con basura, sedimentos en suspensión) es conveniente realizar un tren de procesos destinados a remover del sistema distintos compuestos, yendo de lo más grande y voluminoso hasta lo más pequeño. El sistema de tratamiento entonces constará de varias etapas: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, dejando la opción de un tratamiento terciario que permita mejorar las condiciones y características del efluente. Las etapas funcionarán a base de gravedad, con una bomba luego del pretratamiento que eleve el agua para garantizar que al final del sistema el agua salga con la misma altura que entró, para evitar factores de erosión o impactos en la biota aguas abajo. Previo al tratamiento, se deberá desviar el agua hacia la dirección de la planta.

Caracterización de las partes del sistema.

Canal desviador del cauce original.

Si bien el nombre no es poético, refleja su objetivo perfectamente. Se dispondrá de un canal que desvíe el flujo de agua del cauce del arroyo y lo lleve hacia la planta de tratamiento (Figura 17).

Para desviar el caudal se construirán unas compuertas en el canal y en el desvío (Figura 17a). Las mismas tendrán distintos componentes, los cuales se detallan a continuación:

- Compuerta de metal galvanizado y reforzado, realizada con un diseño que permita el sellado del arroyo. La compuerta tendrá unas guías en la canalización del arroyo que fije la misma, para evitar voladuras y garantizar el correcto funcionamiento (Figura 17b). La compuerta será de un material y complejidad que pueda soportar presiones de 2,5 m. (la fuerza que ejerce el efluente sobre la compuerta).
- Sistema de izaje mediante eslingas de acero que une la compuerta con un sistema de poleas (Figura 17c)
- Sistema eléctrico de roldanas reguladas mediante comando a distancia. En caso de corte en la red eléctrica, se podrá regular manualmente las compuertas mediante manivelas (Figura 17d). Las roldanas serán 12 por compuerta, 2 en cada extremo y luego 2 cada 0,80 m, y trabajarán de a pares para que el izaje sea “limpio”, sin posibilidad de trabas durante la elevación o el descenso).

Estas puertas servirán para manejar la dirección del caudal. La compuerta del canal detendrá el paso normal del agua para llevarlo hacia la planta de tratamiento, mientras que la del canal desviador, al cerrarse, permitirá trabajar en mantenimientos de la planta, mejoras de implementación de nueva tecnología, entre otras cosas (Figuras 18 y 19). Asimismo, cuando el agua tenga alguna propiedad o compuesto dudoso, que pueda poner en peligro la estabilidad y estructura de los componentes de la planta, se podrá resolver cerrar el canal y abrir el cauce original, con la relevante consecuencia de no tratar ese volumen de agua. Ejemplos de esto puede ser un color diferente en el agua, olor, compuestos de procedencia desconocida flotando o visualmente distinguibles, o altos caudales.

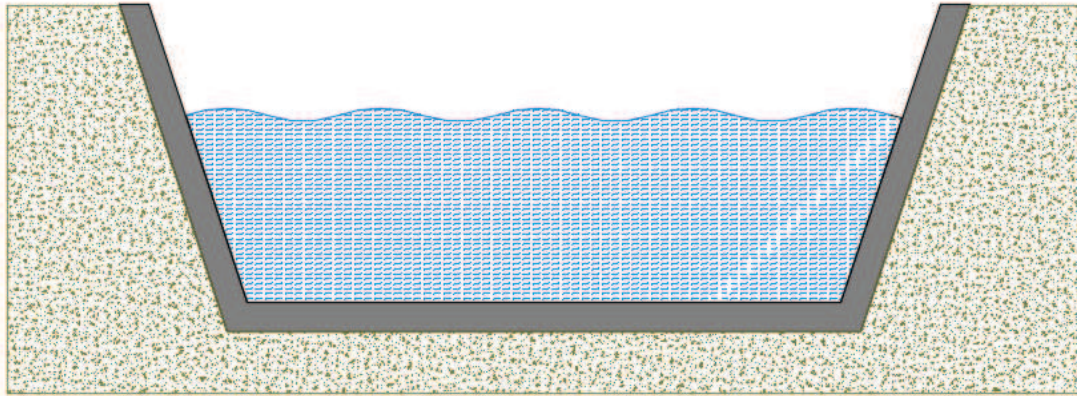


Figura 17.. Sección modelada del cauce del arroyo original (Fuente: diseño propio)

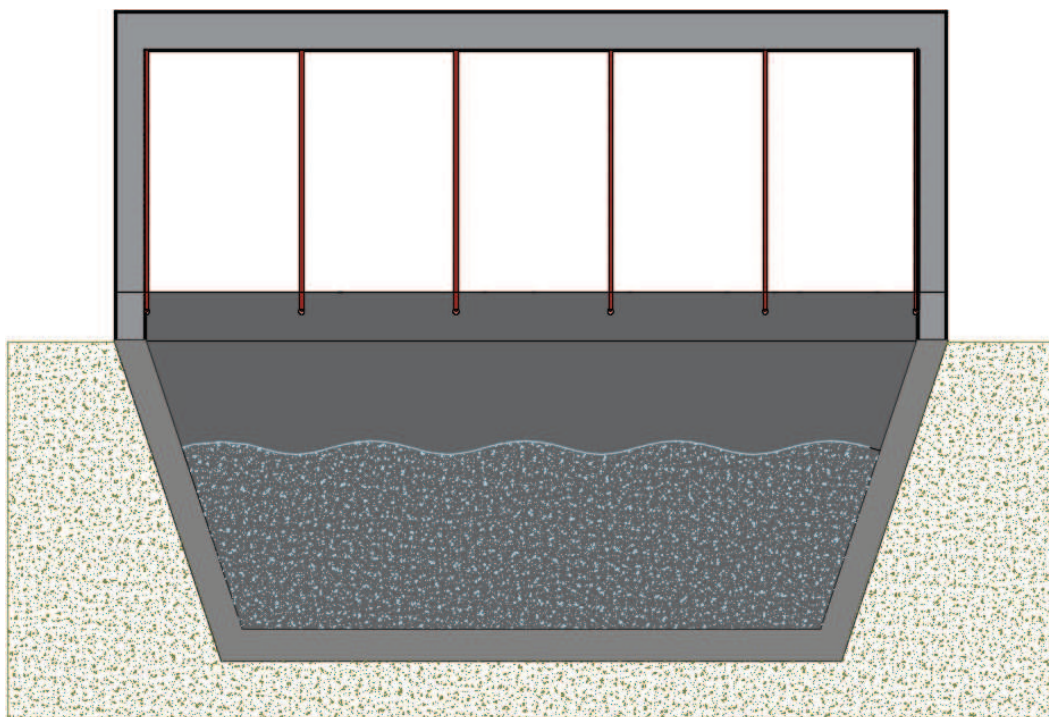


Figura 17a. Diseño de compuertas con sistema de leva. (Fuente: diseño propio)



Figura 17b. Compuerta de chapa galvanizada con detalle del encastramiento en el canalizado (Fuente: Elab. propia).

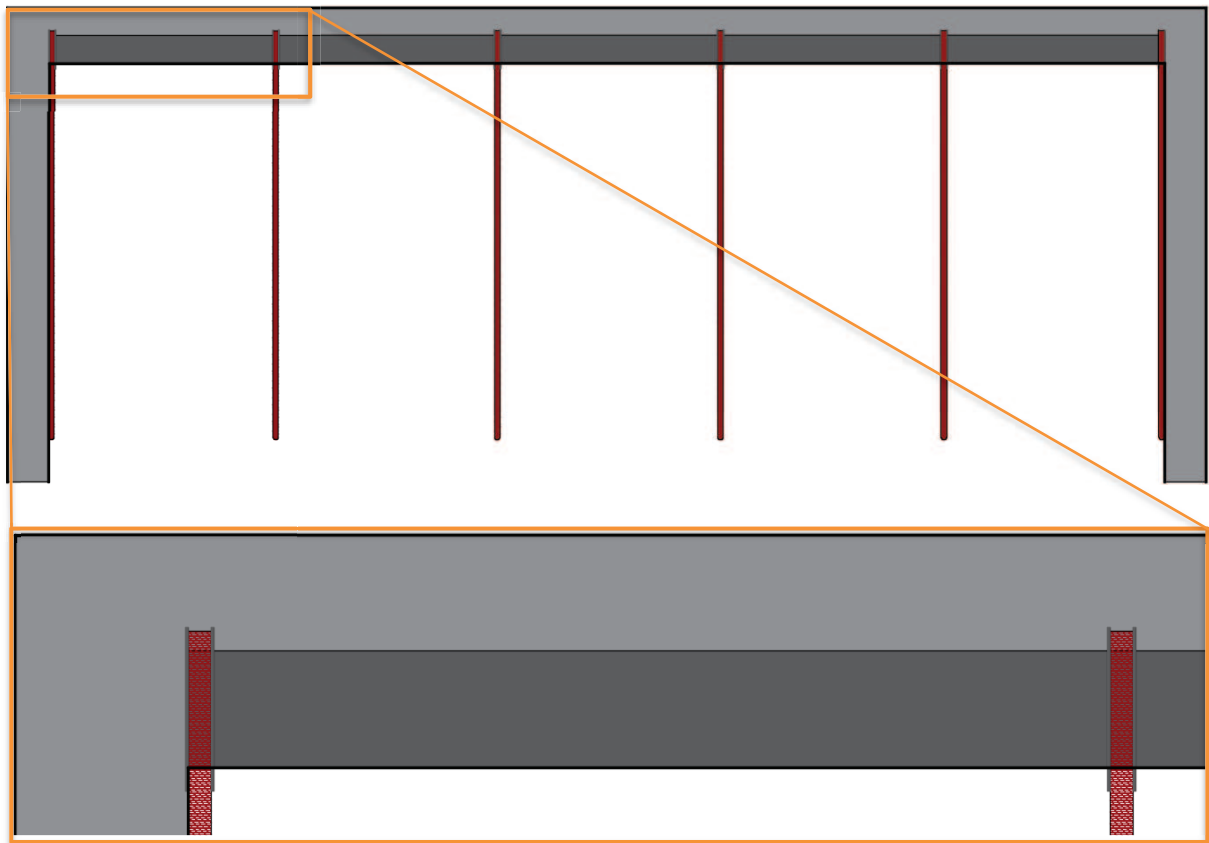


Figura 17c. Vista frontal interna del sistema de izaje. (Fuente: Elab. Propia)

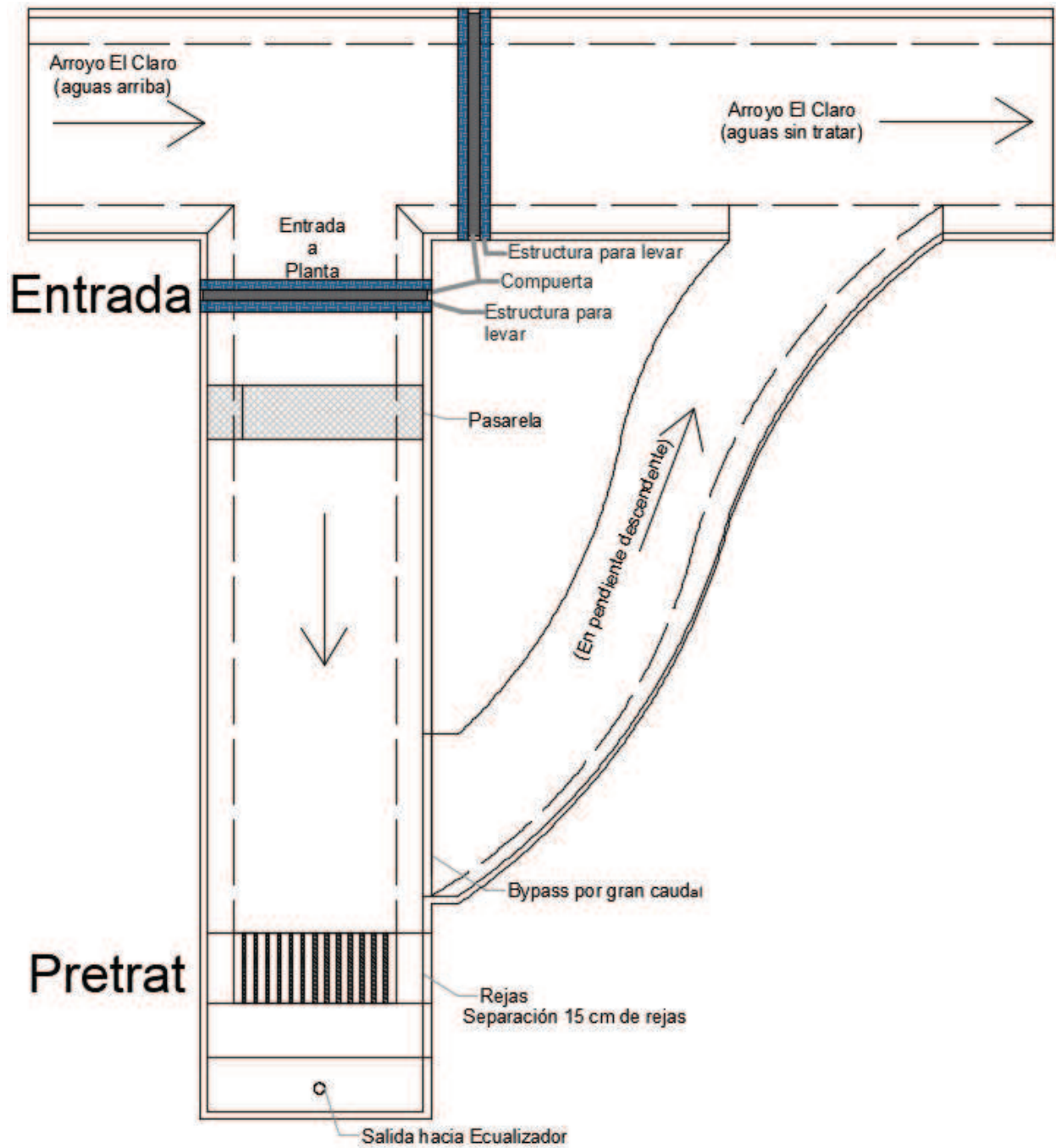


Figura 18. Posición de las compuertas y la entrada a la planta de tratamiento (hacia la derecha). Se puede observar también el bypass ante volúmenes altos, que va desde las rejillas hacia aguas debajo de la compuerta del arroyo (Fuente: Elaboración propia)

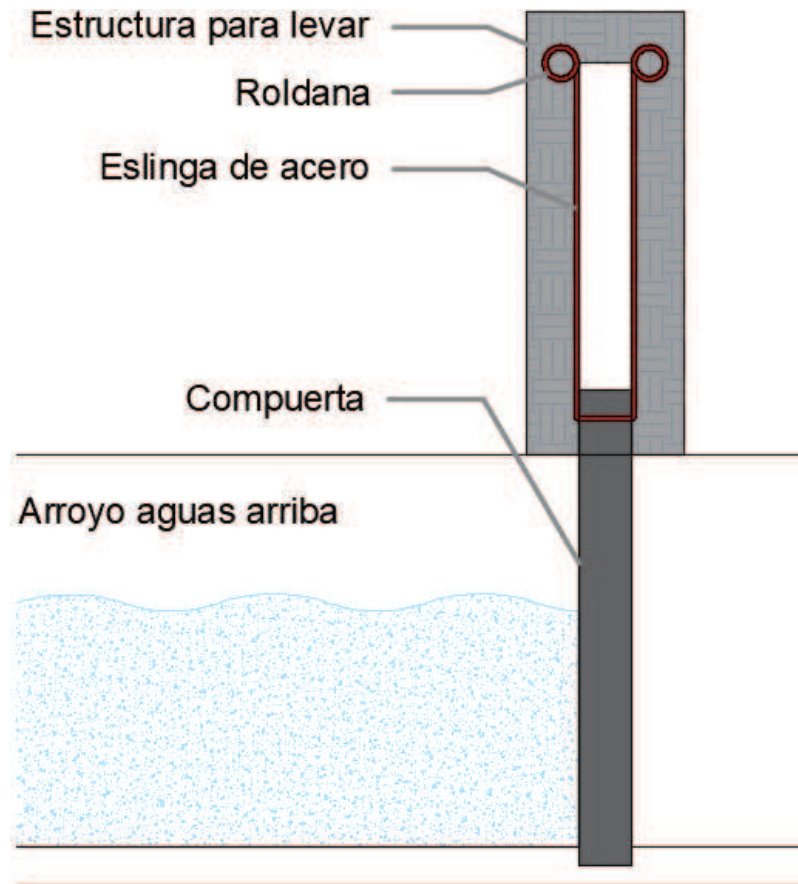


Figura 19. Vista lateral de la compuerta y sus partes (Elaboración propia).

La distancia del canal encarece el costo de infraestructura, pero cuida que los barros estén lejos de la población para disminuir la posibilidad de tener malos olores en las casas, entre otros. (figura 20)

Pretratamiento.

El pretratamiento tiene como objetivo primordial retirar las partes del efluente que podrían comprometer o dañar algún componente de la planta de remediación, así sean maderas, bolsas de residuos, viruta, arena o bosta misma, o cualquier otro material o sustancia flotante o sumergida que venga empujada por el caudal. Los procesos son meramente físicos y se basan en el peso, forma y/o volumen de los componentes que viajan con el efluente del arroyo. Para retener y liberar estas partes del efluente se propone colocar un sistema de rejillas que atrapen los componentes grandes que vienen flotando o sumergidos (bolsas de basura, ramas y palos, entre otros).

El pretratamiento indicado, como todo el sistema en general, deberá mantener y mejorar las condiciones sanitarias que actualmente presenta el arroyo. Esto es, buscará siempre ser limpio y los barros o residuos que genere deberán ser recogidos regularmente para garantizar la sanidad y minimizar el impacto al ambiente y a las personas. Se preverán medidas para el cuidado de las propiedades organolépticas del sistema, ya que el efluente presenta olores nauseabundos producto de la descomposición y la naturaleza propia de los compuestos que trae. Como éstos serán agrupados en la zona de desbaste para su disposición, los olores y otros problemas ambientales (aumento de plagas, como ratas y cucarachas, reacciones biológicas que produzcan lixiviados y olores, entre otras cosas) podrían aumentar en la zona. Para que esto no ocurra, ante cualquier riesgo ambiental tratará al residuo fuera del pretratamiento con algún compuesto que neutralice cualquier efecto negativo al ambiente (cal viva, por ejemplo). Esta medida tiene la ventaja de mejorar la condición del residuo que se quiere disponer y disminuir los problemas y peligros de manipulación del mismo.

Las rejas se colocarán luego del canal de ingreso. Serán de 15 mm con un espacio libre de 20 mm. Por el tipo de efluente a tratar, se realizará un mantenimiento manual de las mismas debido a que un rastrillaje automático podría verse dificultado por materiales grandes como ramas o bosta flotante.

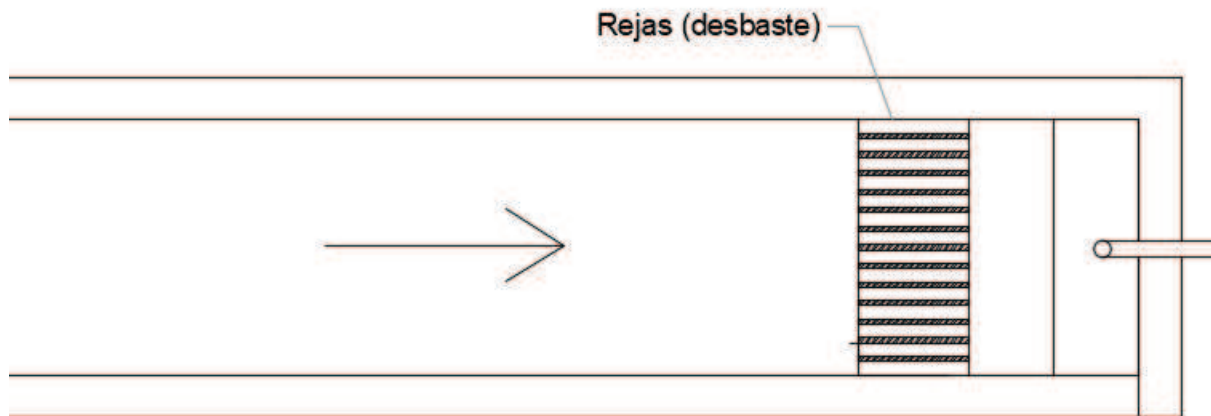
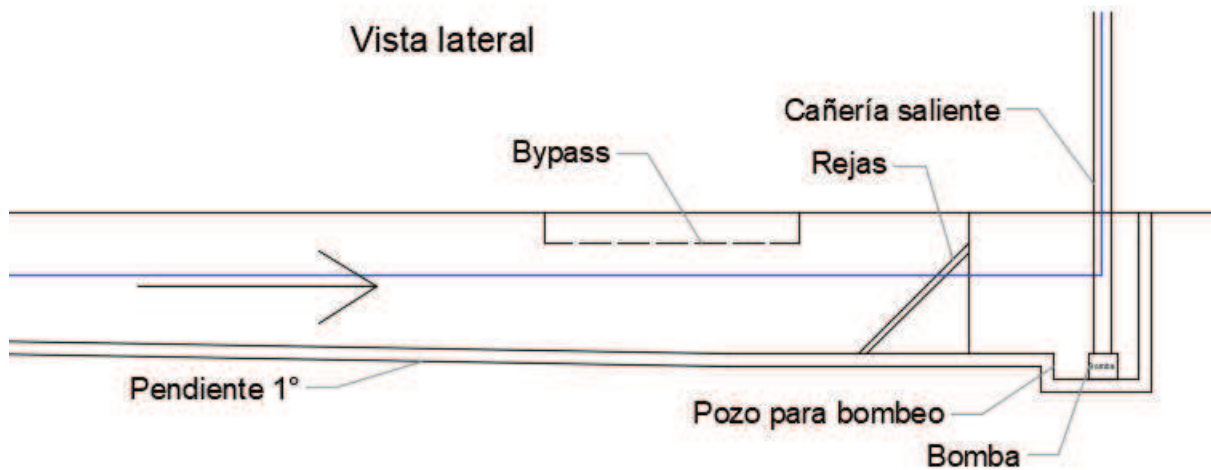
Vista Superior

Vista lateral


Figura 20. Rejas como desbaste de planta de tratamiento. (Elaboración propia)

El trayecto previo a las rejillas sirve también de lugar de caracterización visual del efluente. Ante situaciones que puedan poner en peligro alguna de las unidades de la planta (aguas teñidas por algún color, de olor fuerte o aspecto dudoso) se abrirá la compuerta del arroyo para que fluya el agua por allí. Si el caudal fuera muy grande, para evitar derrames, se pensó un bypass estructural que limita la altura del agua en el canal. El agua que sobrepasa ese volumen se irá hacia el arroyo, según dicta la figura 18.

Ecualizador.

Entre el desbaste y los siguientes tratamientos se debe elevar el pelo de agua, ya que el nivel del suelo donde irá la planta es mucho mayor al cajón por donde corre el arroyo. También, se deberá garantizar constancia tanto en el caudal como en la temperatura, pH (entre otros) para que el humedal cuente siempre con agua, y que ésta no varíe significativamente en sus características, lo que asegurará la eficacia y perpetuidad de las partes del tratamiento (las plantas del tratamiento secundario no pueden vivir sin agua). Para ello, se llevará a cabo la contención de cierto volumen de agua, dependiendo de la variación horaria del caudal y de las propiedades del mismo.

El ecualizador puede colocarse en varios lugares de la planta, ya que sirve como *buffer* en primera instancia y permite regular el efluente que saldrá de él. De la misma manera, podrían colocarse otros ecualizadores (o amortiguadores) para disminuir el impacto de lluvias y aumentos rápidos de caudal en el sistema. Para este proyecto, se colocará un solo ecualizador luego del pretratamiento.

Esta parte del tratamiento se compone de una bomba que subirá el efluente hacia un contenedor en altura, con un sistema de homogeneización interno mediante burbujeadores de aire. La altura de salida deberá satisfacer que el efluente evolucione por gravedad desde el ecualizador hasta el fin de la planta, que será por encima de la altura del arroyo.

Neutralización

Al salir del ecualizador se realizará la neutralización, es decir, llevar el efluente hacia niveles de pH que fluctúen entre 6,7 y 7,5. En esta etapa se analizará el pH ingresante, de manera de no poner en riesgo las partes del sistema de tratamiento que son sensibles al mismo. El sistema será automático, leera los niveles de pH continuamente y agregará sales de cloro o cal viva para ordenar este punto entre los niveles dados.

En la neutralización también se buscará reducir la concentración de metales en solución, dado que los mismos, al cambiar el pH, modifican su composición química y pueden depositarse en el tratamiento primario.

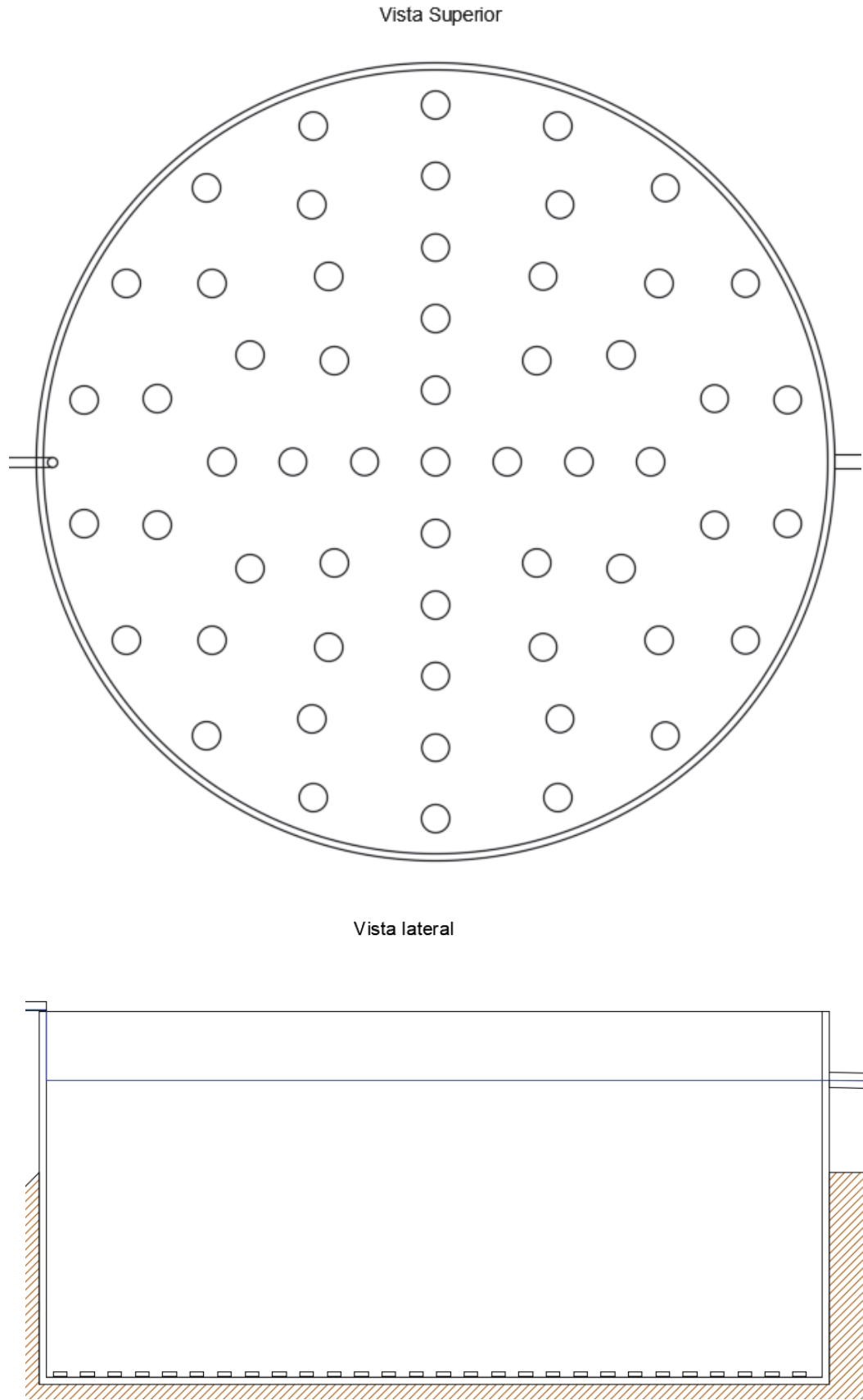


Figura 21. Ecuador en vista superior y lateral. (Elaboración propia)

Tratamiento primario.

El tratamiento primario busca disminuir partículas más finas que lograron entrar al sistema. Se basa en las propiedades físicas o fisicoquímicas de los compuestos a remover. Los procesos primarios incluyen la sedimentación, flotación, coagulación y floculación, neutralización, entre otros.

En nuestro caso, optaremos por el proceso de sedimentación para disminuir la posibilidad de atascamiento (o clogging) en el humedal. Se construirá un desarenador / desengrasador, debido a la gran cantidad de elementos flotando y los sedimentos que arrastrará el arroyo.

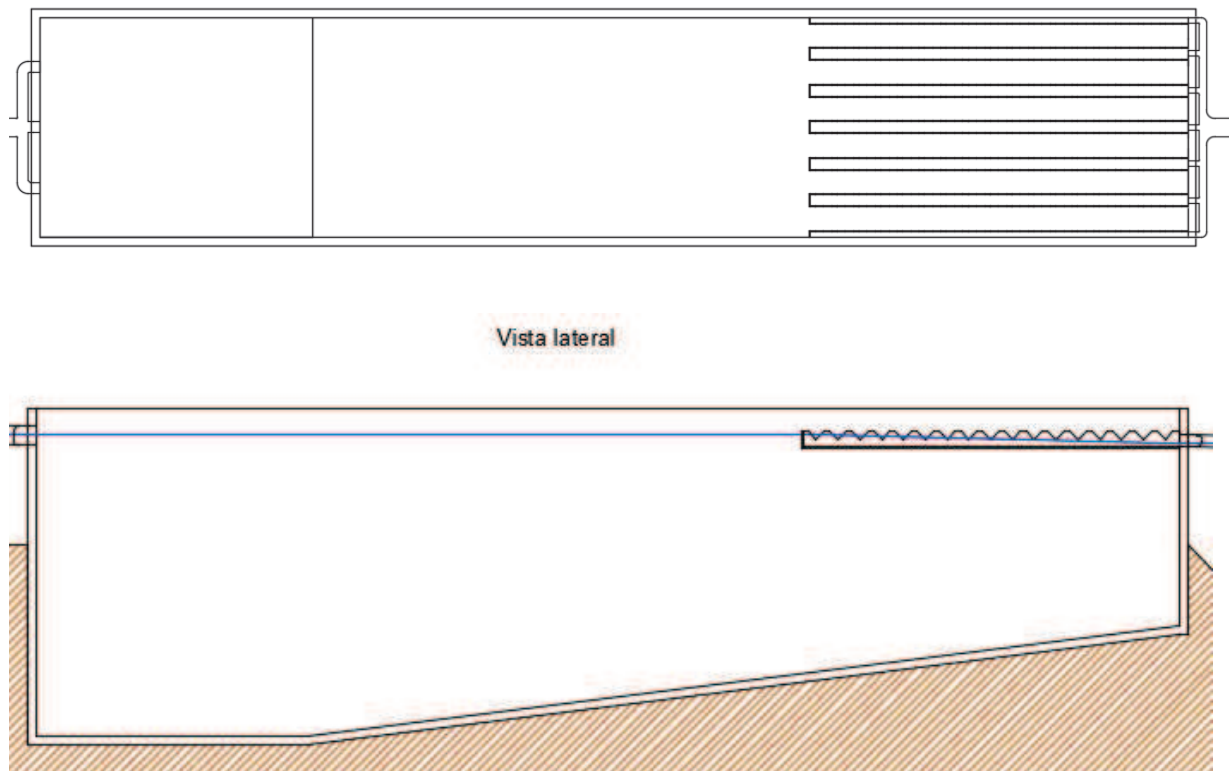


Figura 22. Esquema del Desarenador. (Elaboración propia).

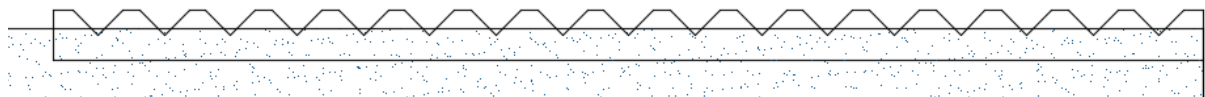


Figura 22 - Detalle. Sistema de captura de efluente dentro del sedimentador (canaleta tipo Thompson en estructuras para aumentar el perímetro de tipo picos de pato).

Tratamiento Secundario – Humedal.

El tratamiento secundario busca la remoción de los compuestos más pequeños del efluente. Este tratamiento presenta la particularidad de tener procesos activos biológicos y utilizar materia viva para remover contaminantes del efluente.

Los humedales componen el tratamiento secundario en esta planta. La elección del mismo se basará en los puntos anteriormente expuestos, donde junto al humedal también tenía parte la rizofiltración y biosorción por microorganismos. Por ello, se optó por la elección de un humedal artificial de flujo subsuperficial ya que toma gran importancia la zona radicular de la planta y de ella depende en gran medida la estructura de la rizósfera, sus microorganismos e interrelaciones. En esta clasificación hay dos opciones a tener en cuenta: el flujo horizontal y el flujo vertical. Debido al gran volumen y las complicaciones que podría haber se elige el flujo horizontal para este proyecto, dado que las variables pueden ser rápidamente modificables y se pueden resolver situaciones visibles al caminar al lado del humedal de flujo horizontal.

Diseño general del humedal.

Las propiedades del humedal van a condicionar su eficiencia de remoción y necesidad de mantenimiento. Abajo se proporcionan las elecciones de las distintas partes del humedal, las cuales fueron elegidas para que cumplan el objetivo planteado.

Entrada y salida.

La importancia de la entrada del efluente en el humedal repara en que debe garantizar la homogeneidad del flujo en toda la sección, para evitar también que el agua se vaya solo por un lugar y no interactúe con las plantas (camino preferenciales) o se creen ‘zonas muertas (zonas de poca velocidad donde pueden aflorar microorganismos no deseados. En la figura 15 se muestran tres modelos iguales con el sistema de entrada y salida ubicados en la misma posición, pero con diferente diseño. Aunque en ambas figuras las tres estructuras son iguales, las calidades de los efluentes son diferentes debido al no aprovechamiento por igual de los volúmenes y áreas de las lagunas.

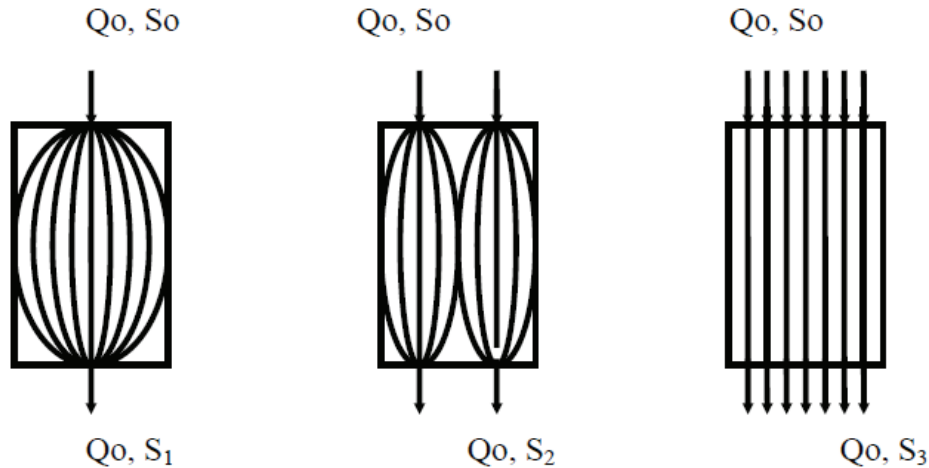


Figura 23. Modelo de flujo del efluente según el diseño de entrada del humedal.

En este sentido, y para garantizar la totalidad del uso del área dedicada al humedal, para la entrada del efluente se utilizará un caño de pvc en forma de “T”, agujereado longitudinalmente a la misma altura, dispuesto horizontalmente y tapado en sus para que el efluente suba homogéneamente por el mismo, salga por los agujeros el mismo caudal e ingrese sin priorizar zonas, de manera de abastecer a todo el humedal disminuyendo la posibilidad de caminos preferenciales. En este sentido, el humedal debe tener un flujo continuo de tipo flujo pistón, en donde cada franja perpendicular a la dirección del flujo remueva lo mismo y tenga comportamientos similares en pérdidas de carga, remoción y caudal tratado (ver Figura 17) (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, 2007).

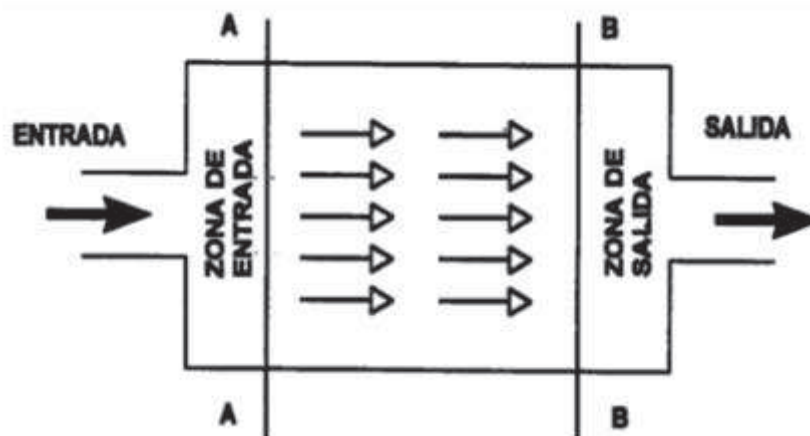


Figura 24. Modelo de un humedal artificial. Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (2007)

Luego de ser tratada, el agua deberá salir libremente mediante rejas o superficies agujereadas que permitan el libre movimiento del efluente hacia la siguiente etapa. Para no bajar el pelo de agua y mantener el agua en el humedal, se deberá elevar el caudal tratado hasta una altura que garantice maximizar el volumen de agua en el humedal

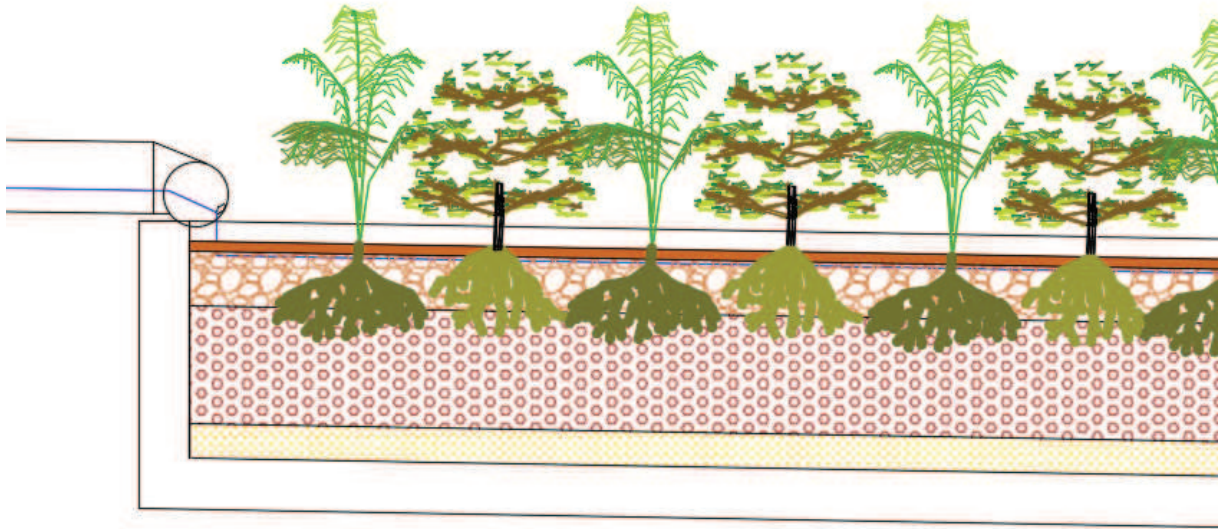


Figura 25. Vista lateral del humedal con el perfil de suelos: grava media, gravilla y arena al fondo (Elaboración propia).

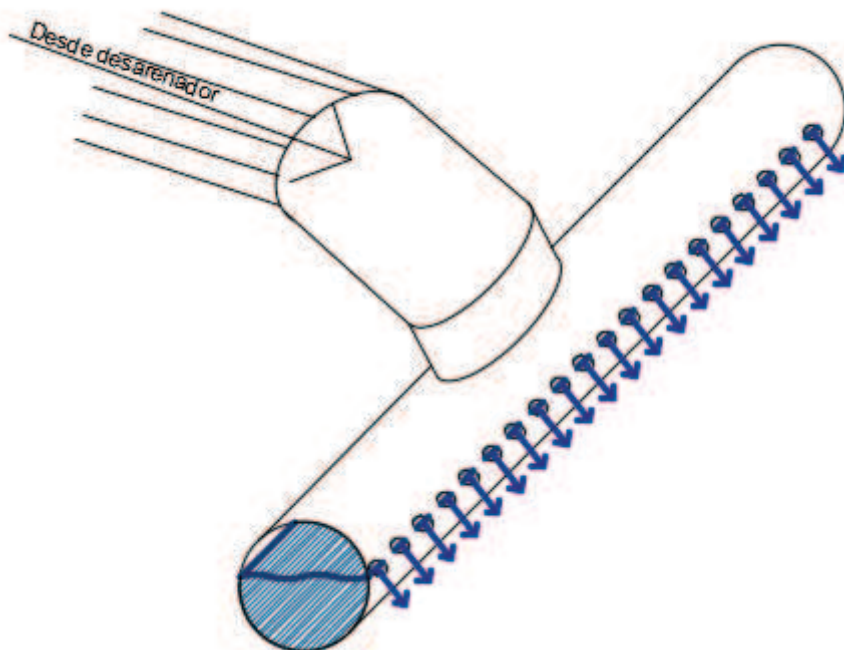


Figura 26. Explicación del flujo igualitario para todo el lateral (Elaboración propia)

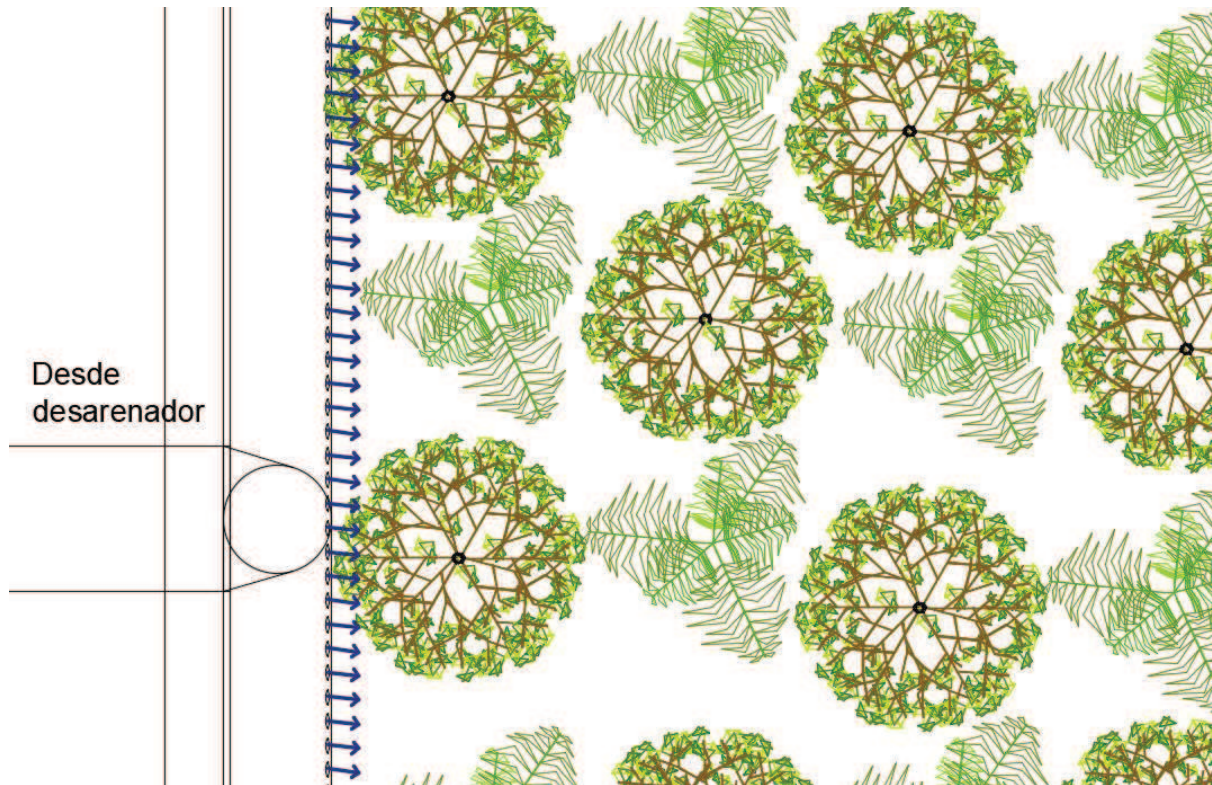


Figura 27. Vista superior del humedal, con distinción de las plantas del mismo. (Elaboración propia)

Infraestructura.

El humedal deberá contener plantas y un sustrato, y sobre y en ellos se acumulará gran cantidad de contaminantes. Para que los mismos no se escapen al medio se deberá colocar una doble capa de geomembrana por debajo y alrededor, tapada y protegida por taludes de tierra que sirven de ancla a la tela y aumentan al mismo tiempo la capacidad del humedal. La geomembrana es una manta resistente que separará lo que pasa en el humedal del suelo, de manera de impedir intercambio de sustancias y pérdida del efluente (Figura 18). Es necesario recordar que el humedal retendrá muchos compuestos que vienen del agua, aumentando la concentración y la cantidad de los mismos en un solo lugar. Si por alguna razón el humedal sufriera pérdidas o tuviera intercambios con el suelo por alguna rotura, el impacto negativo al medio ambiente sería mucho más importante que las concentraciones “diluídas” y todo el sentido de la remediación no valdría de nada. Por ende, este es un requerimiento muy importante.

Como sustrato, se colocará grava mediana en todo el humedal para que el efluente pueda correr con menor pérdida de carga y para que los microorganismos de la rizósfera tengan sitio de anclaje.



Figura 28. Colocación de geomembrana en un humedal.

Vegetación del humedal elegido.

En la zona de influencia, se encuentran las especies *Impatiens sultanii* y *Lolium perenne*. Mediante un estudio realizado por Barros (et al, 2006), se demostró la capacidad de remoción de Plomo en el Riachuelo, río contaminado del sur del Area Metropolitana de Buenos Aires, con resultado de 0,4% de la masa seca de raíces (MS) en *L. perenne* y 0,6% en *I. sultanii* y remoción de hasta un 98% en 72 hs. Se eligieron estas 2 especies por ser agradables a la vista y su eficacia en remover el metal, y porque ambas presentan raíces que benefician la remoción de los contaminantes en estudio en el humedal.

Impatiens sultanii es una de las casi 1000 especies del género *Impatiens*, originaria de África pero ampliamente introducida en los trópicos de América como ornamental, en donde se ha naturalizado. Es conocida con los nombres comunes de alegría del hogar, alegría de la casa, orejas de oso, balsamina o miramelindo, china. Su estructura es perenne, suculenta que puede alcanzar una altura de entre 15 y 60 centímetros. Los tallos son poco ramificados, glabros y algunas veces rojizos, enraizando en los nudos inferiores. Posee hojas alternas, pecioladas, lanceoladas cuyo tamaño oscila entre los 3 y 12 cm de largo y entre 2 y 7.5 cm de ancho. Los peciolos son de entre 1-8 cm de largo con 1 a 3 glándulas pediceladas dispersas. Los márgenes de las hojas son crenados o dentados, usualmente con fimbrias entre los dientes.

Las inflorescencias son racimos axilares con 1 a 5 flores con pedúnculos de 2-6.5 cm. Las flores pueden ser variables en color, rosadas, púrpuras, violeta, naranjas, rojas o blancas. Es una planta monoica con flores masculinas y flores femeninas. Los pétalos laterales miden entre 3-7 mm, el sépalo inferior de 8 -16 mm formando una espuela de 11-19 x 13- 25 mm que funciona como nectario. Sus flores tienen entre 2 y 5 centímetros de diámetro y, generalmente, 5 pétalos, posee 4 estambres y 1 antera.

Los frutos son cápsulas fusiformes de 15-20 x 5-6 mm, dehiscentes explosivas que lanzan sus semillas al explotar.



Figura 29. Retrato de *Impatiens sultanii*, planta a utilizar en el humedal.

Lolium perenne, llamada comúnmente ballica, ballica inglesa, ballico, césped inglés, raigrás inglés, raigrás perenne, ray grass inglés o vallico es una gramínea perenne de importancia en la creación de césped y en la producción de forrajes en lugares de clima templado y subtropical. Su estructura consta de tallos de hasta 80 cm, con hojas de color verde oscuro y brillante, enteras o bilobadas, con limbo de hasta 18 cm de longitud; estriadas y con nervio central marcado. La inflorescencia está compuesta por espigas sésiles alternadas a izquierda y derecha de un eje central. Las espiguillas están dispuestas juntas, con 3 - 10 flores cuya pálea es tan larga como la lema. Como en la mayor parte de las gramíneas, la reproducción puede ser por semillas o por macollos.



Figura 30. Fotografía de *Lolium perenne*, planta a utilizar en el humedal.

Lixiviado

Según Perez (et al, 2 de mayo de 2018), las plantas de humedales pueden remover durante 40 días, cantidad desde la cual empiezan a decaer por la contaminación producto de la cantidad de metales pesados y otros compuestos biosorbidos. Esta planta de tratamiento tendrá una etapa de tratado de las plantas y el suelo contaminado, ya que los metales y otros compuestos tienden a incorporarse a las plantas, sedimentar al transformarse en sustancias no solubles o quedar atrapados en la matriz de la rizósfera.

La etapa de lixiviación será periférica al tratamiento del efluente. Ésta buscará, por un lado, la remoción de metales pesados de la matriz del suelo y las plantas, de manera que los componentes del humedal (grava, gravilla, arena, etc) puedan ser reutilizados o dispuestos como residuos industriales, dejando a los especiales con un volumen sensiblemente menor. Por otro lado, tratará sobre la recuperación de los metales pesados y su reincorporación a la industria, de manera de disminuir la cantidad de contaminantes a disponer. Éste último objetivo necesita de pruebas para determinar la mejor manera de realizarlo.

Proceso de Lixiviado

Dentro del lixiviado se deben trabajar las distintas capas del humedal por separado, para poder así usarlas colocándolas en orden, una vez recuperadas las mismas. Las capas son arena, gravilla y grava de diámetro cada vez mas grande a medida que ascendemos hasta llegar a las plantas. Se pueden visualizar en la Figura 39.

Una vez se certifica que un sector de un humedal (o el humedal por entero) está saturado, se procede a desmontarlo capa por capa. Los operarios trabajarán con palas y carros, llevando primero la capa más alta al camión que espera a la vera del humedal. El mismo deberá posicionarse de manera que el trayecto de los operarios sea mínimo. Al llenarse el contenedor trasero, los operarios comienzan a trabajar con otro contenedor. Cada uno de éstos deberá llevar solo un tipo de grava para que el lixiviado sea solo de ese tipo y se pueda reutilizar.

El camión lleno volverá a los cajones de lixiviado, donde desmontará la carga y volverá a la zona de humedales.

En el cajón de lixiviado, las piedras se someterán a un baño a pH ácido que permite el desprendimiento de metales y otros compuestos de la matriz, de manera que los mismos pasan a estar en solución. La solución (mezcla de ácido nítrico y sulfúrico) debe permanecer siempre tapada para evitar malos olores y diluciones por causa de lluvia.

La operación del lixiviado cumplirá estos pasos:

- El cajón se llena mediante la alimentación de los camiones y personal dispuesto para esta tarea.
- El cajón se tapa con un cobertor y vierte la solución ácida. Se deja reposar 1 semana y se sacan muestras para ver el contenido de metales. Si hubiera presencia y fuese importante, se dejará mas tiempo (1 semana mas).
- La solución ácida será vertida en una cámara de recupero, donde permanecerá hasta su disposición en bins o camiones para transporte de residuos peligrosos. Cada cuba de recupero contiene aproximadamente 20 m³ de solución. Esta solución será foco de análisis para ver si puede reutilizarse, para saturarlo por un lado y aumentar las posibilidades de reutilizarlo.
- Las piedras tratadas serán devueltas a los humedales o, si su estado no fuera apropiado, se acopiará y se tratará como residuo industrial.

Tratamiento terciario

Este tratamiento se deja expuesto al verse la necesidad de agregar un tratamiento posterior al humedal para contener los contaminantes. Según los análisis de laboratorio, puede verse la necesidad de colocar bolsas con dolomita para adsorber Plomo, Cromo, Cobre o algún otro metal que termine con concentración por sobre el nivel regulado; puede clorarse el agua ante la presencia de agentes infecciosos o para reducir la cantidad de algún contaminante, o tratar el efluente con ozono para reducir la DBO, entre otros.

Final del tratamiento

Luego de la planta, el efluente pasará por una cámara de toma de muestra y aforo para la verificación por parte de la autoridad de aplicación y de la empresa de que el proceso remueve los contaminantes y no libera otros al ambiente.

Concluido el paso por la planta de tratamiento, el efluente será restituido al arroyo para proseguir su marcha hacia el Luján.

Monitoreo de la planta.

Para garantizar la perpetuidad de la planta y su confinamiento, se realizarán freatómetros para monitoreo de aguas subterráneas, entendiéndose que un aumento de contaminante aguas debajo del humedal y no aguas arriba, se deberá exclusivamente a pérdidas en el mismo.

Bypasses.

Es necesario prever que podría llegar a haber dificultades inherentes a la planta de tratamiento. Casos como roturas o mal funcionamiento del humedal, problemas con el desarenador – desengrasador o falta de energía, entre otros, podrán ocasionar que se elija no tratar cierto caudal de agua al esquivar algunos procesos y enviar el flujo por un camino alternativo para salvaguardar la estructura general de la planta. Este sistema de nervaduras será maniobrado manualmente con bridas de paso, siendo correctamente señalizada la del flujo normal y las que

necesiten otras vías. En la figura 19 se describen los *bypasses* que tendrá la planta de tratamiento.

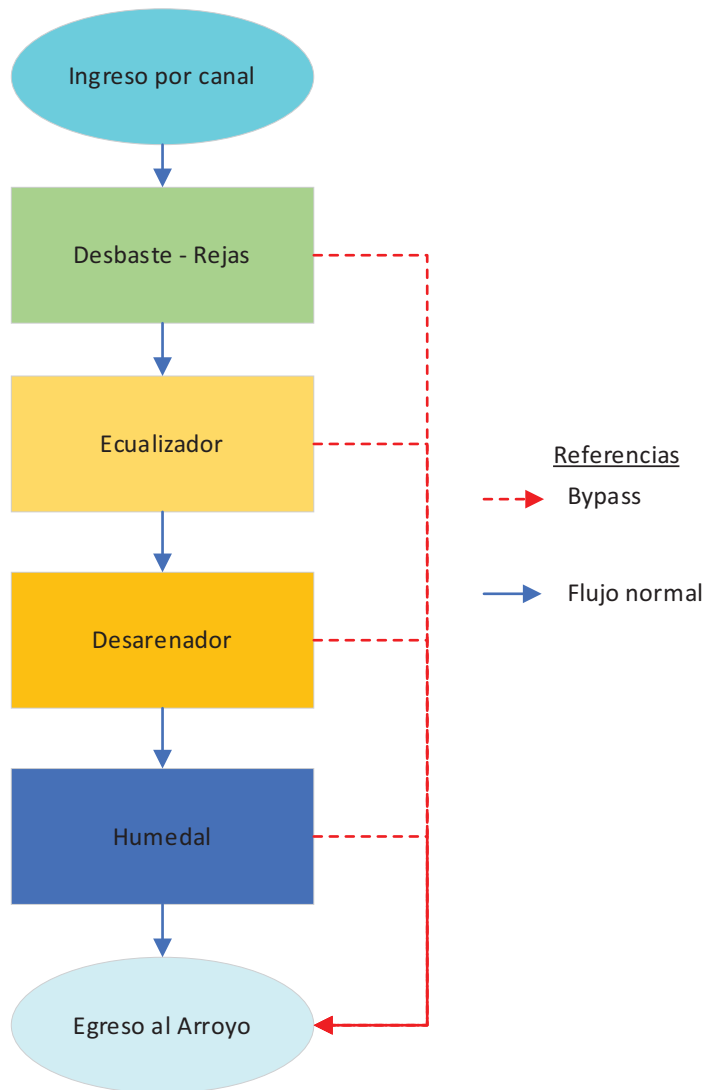


Figura 31. Todos los flujos alternativos al normal por el que podrá pasar el efluente (Elaboración propia).

Memoria de cálculo de la planta de tratamiento.

Parámetros de diseño

Caudal de diseño.

Se hará la planta para un caudal un 20% mayor al caudal medio. En la sección “Diseño” se postulo que $Q_{med} = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Se propone un **caudal de diseño de $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$**

$$Q_{dis} = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Concentración de diseño.

En la Tabla IX se exponen las concentraciones al momento del análisis y las que se tomarán para diseño. Las segundas serán mayores debido a que cambios de temperatura, pH o composición del efluente puede hacer variar las concentraciones y debemos hacer una planta que logre satisfacer el peor escenario. Se optó por aumentar el diseño un 20% sobre el valor de la medición.

Tabla IX. Concentraciones reales y las que serán utilizadas para el diseño del humedal (Elaboración propia)

Parámetro	C _{real}	C _{diseño}
Plomo	6,3	8,0
Cromo	3,3	4,0
Cobre	7,4	9,0
Fósforo Total	5,0	6,0
DBO	178	214

Superficie.

La superficie es necesaria y hasta limitante para la puesta en marcha de un humedal. El humedal se hará en un área de 5,5 has bordeando las vías del tren y el arroyo El Claro. Este sector es un descampado lleno de matas que deberá ser desmontado, pero su relieve será provechoso para la construcción de los humedales ya que cuenta con pendiente hacia el Este, la cual es la dirección del efluente en cuestión. Se realizará el canal en un declive del lugar, bajando el nivel del suelo para poder atraer el agua del arroyo. El flujo hará una U, partiendo y volviendo hacia el arroyo.



Figura 32. Superficie a utilizar en la planta de tratamiento de efluentes del Claro, marcado en blanco, y los distintos tratamientos en distinto color. (Elaboración propia)

Compuerta.

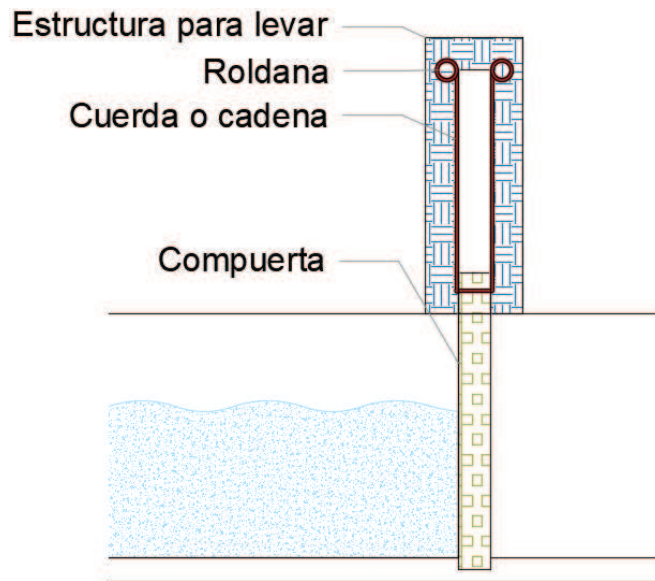


Figura 33. Características de la compuerta (Elaboración propia)

Canal desviador.

El canal desviador será igual en dimensiones que el canal original: un trapecio invertido de 10 m de largo (ver figura 18), con 3 m de ancho en la base y 4 m de entre los bordes superiores de las paredes del canal (figura 34). Este ancho ralentizará el flujo para disminuir la pérdida de carga en las rejillas. Tendrá una pendiente hacia las rejillas de 1° para dejar correr el agua en dirección a la planta de tratamiento y tendrá las compuertas para dejar entrar el agua o bloquear el paso (ver figura 18 y 19).

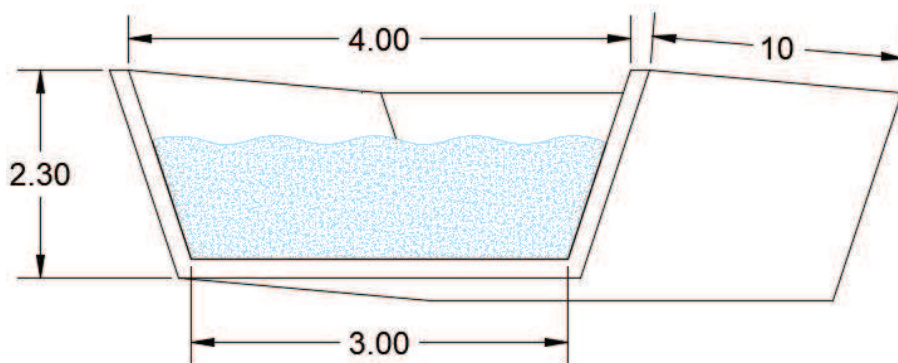


Figura 34. Dimensiones del canal desviador, en metros (Elaboración propia).

Previo a las rejas, en el canal, se dispondrá el primer bypass. Esto es, se hará un vano a los 1,4 m de altura, para evitar que aumentos de caudal puedan dañar la estructura de la planta. Este vano tendrá una pendiente hacia el arroyo, luego de la compuerta (Figura 18).

Pretratamiento.

Las rejas deberán construirse teniendo en cuenta las condiciones iniciales y la estructura donde serán colocadas. Ambas son descriptas en la tabla XX.

Tabla XX. Parámetros iniciales para la construcción de las rejas (Elaboración propia)

Descripción	Cantidad
Caudal	2,9 m ³ /s
Velocidad de acercamiento	0,8 m/s
Ancho de rejas	3 m
Alto de rejas	1,3 m
Angulo de las rejas frente a la horizontal	45°

La altura teórica promedio del pelo de agua se calcula mediante el caudal de agua, la velocidad de acercamiento y el ancho de las rejas.

$$Q = \text{velocidad} \cdot \text{area de acercamiento} = \text{velocidad} \cdot \text{ancho} \cdot \text{altura}$$

$$\text{Altura del pelo de agua} = \frac{Q}{\text{velocidad} \cdot \text{ancho}} = \frac{2,9 \text{ m}^3/\text{s}}{0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \text{ m}}$$

$$\text{Altura del pelo de agua} = 1,1 \text{ m}$$

Para la pérdida de carga en las rejas de barras (Figura 35) adoptamos los datos de la Tabla XXI.

□ Pérdida de carga en la rejas de barras:

$$h_L = \beta \left(\frac{W}{b} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \text{sen}\theta$$

h_L = pérdida de carga en metros

β = factor de la forma de la barra

w = anchura máxima transversal de las barras en la dirección de la corriente, en metros

b = separación mínima entre barras, en metros

h_v = altura cinética del flujo que se aproxima a la reja, en metros

θ = ángulo de la reja con respecto a la horizontal

Figura 35. Cálculo de la pérdida de carga en las rejas.

Tabla XXI. Datos para la pérdida de carga del fluido (Elaboración propia)

Descripción	Cantidad	Observaciones
Beta	1,79	Corresponde a barrotes circulares
W	0,01 m	Los barrotes tendrán 1 cm de diámetro
b	0,025 m	Barrotes separados entre sí 2,5 cm
h _v	0,2 m	
sen (ángulo) = sen (45°)	0,85	

Entonces, realizando el cálculo de la Figura 35, la pérdida de carga (h_L) es de 0,075 m, lo que equivale a 7,5 cm y el total será de 1,175 m.

Las rejas tendrán una altura de 1,35 m para contemplar cualquier eventualidad. Se sobredimensionan las mismas debido a que mayores rejas no representan un aumento en los costos y puede ser beneficioso en la operativa de la planta, es decir, requerirá menor supervisión por parte de los operarios.

Luego de pasar el fluido por las rejas, irá a un pozo de toma de agua para el ecualizador.

Ecualizador.

El ecualizador responderá al mayor requerimiento de volumen que la planta podría tener. La bomba, que toma el efluente desde las rejas, será una Bomba Periferica Fluvial 5 Hp Elevadora De Agua modelo Nero. En este sentido, se realizó el siguiente gráfico (Figura 20), el cual representa los movimientos de volumen diarios:

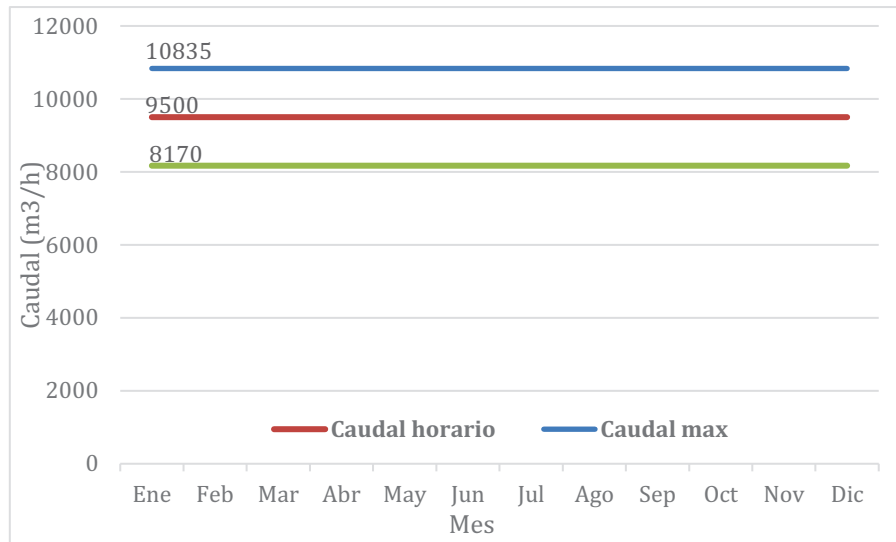


Figura 36. Variación de caudal durante el año (Elaboración propia)

Para lo expuesto, se deberá obtener un tanque con capacidad de 1500 m^3 más 50 cm de revancha

Se optó por una cámara cilíndrica con mezcla por difusores de aire dado el gran volumen del tanque. La altura (h) máxima de la cámara para que la mezcla sea perfecta es de 7 m.

$$\text{Requerimiento de aire: } Re = 0,0374 \text{ m}^3 \text{aire/m}^3 \text{reactor.min}$$

Adopto una altura de 7 m

$$\text{Vol} = 1500 \text{ m}^3 = \text{Area} \cdot h$$

$$\text{Area} = 1500 \text{ m}^3 / 7 \text{ m} = 214 \text{ m}^2$$

Adopto una forma cilíndrica

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 214,3 \text{ m}^2}{\pi}} = 16,6 \text{ m}$$

$$D = 17 \text{ m}$$

Con el requerimiento de aire de los difusores se calculó la cantidad de difusores necesarios para obtener una mezcla perfecta en la cámara de ecualización.

$$\text{N}^\circ \text{ Difusores} = V_{\text{tanque}} / Re = 56,1$$

Nº Difusores: 57

Los difusores están conectados entre sí mediante mangueras, de manera de poder reemplazar alguno si se rompiera.

Tratamiento primario.

Desarenador – Desengrasador

El desarenador deberá trabajar según los parámetros que se describen a continuación:

Tp: tiempo teórico de permanencia

El tiempo de permanencia es, por definición, el tiempo en el cual la partícula que se mueve a la velocidad crítica. La velocidad crítica es la velocidad en la cual la partícula puede seguir en el efluente, menos de dicha velocidad hará que la misma caiga en el desarenador.

$$T_p = V/Q$$

V: Volumen del tanque

Q : caudal de diseño

En un desarenador, para partículas mayores a 0,2 mm, el tiempo de permanencia normal oscila entre 18 a 90 segundos. Adopto un Tp de 90 segundos y busco el volumen del desarenador – desengrasador.

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

$$T_p \cdot Q = V$$

$$90 \text{ s} \cdot 2,54 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = V_{\text{tanque}}$$

$$240 \text{ m}^3 = V_{\text{tanque}}$$

El tanque debe cumplir que

$$\frac{\text{Longitud}}{\text{Profundidad}} = 6 \text{ a } 20 \quad (1)$$

Y también que

$$\frac{Longitud}{Ancho} = 2 a 5$$

Si adopto la profundidad (h) a 3,5 m:

$$V_{tanque} = h \cdot Superficie$$

$$Superficie = \frac{V_{tanque}}{h}$$

$$Superficie = \frac{240m^3}{3,5m} = 68,6m^2$$

Adopto la relación de (1) en 6 para encontrar la longitud

$$\frac{Longitud}{Profundidad} = 6$$

$$\frac{Longitud}{3,5m} = 6$$

$$Longitud = 6 \cdot 3,5 m = 21 m$$

$$Longitud \cdot Ancho = Superficie$$

$$Ancho = \frac{Superficie}{Longitud} = \frac{68,6m^2}{21m} = 3,23 m$$

Para facilitar la construcción y garantizar el funcionamiento del desarenador, adoptaré 4 m de ancho.

La velocidad de escurrimiento, velocidad lineal con la que el efluente avanza horizontalmente, no deberá sobrepasar los 0,75 cm/s y la debo verificar con el caudal de diseño y el área seccional (el ancho por la profundidad), según se ilustra en la Figura 37.

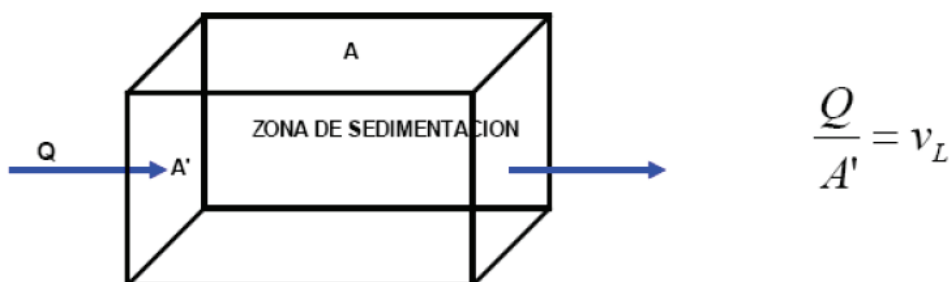


Figura 37. La velocidad de escurrimiento (v_L en la figura) es razón del caudal y el área seccional.

$$V_{\text{escurrimiento}} = \text{Caudal}/\text{Area seccional} = 2.64 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1/(3.5 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}) \cong 0,19 \text{ m/s}$$

La carga superficial para estos tratamientos es de 21600 a 34600 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. Estos valores son representativos de los desarenadores, según la descripción de la tabla XXII

Tabla XXII. Cargas superficiales normales de distintos sistemas de tratamiento

Proceso	Carga superficial [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{día})$]	Tiempo de residencia [min]
Desarenadores	21600 a 34600	0,3 a 1,5
Sedimentadores primarios	20 a 45	60 a 120
Sedimentadores secundarios	8 a 33	120 a 240

El desarenador tendrá una zona de acumulación de sedimento, la cual se ubicará al inicio del proceso para que, si al momento de retirar los mismos hubiera resuspensión, los sedimentos caerían y se mantendrían en el sedimentador, sin ser arrastrados hacia el tratamiento siguiente.

Alternativas para el tratamiento primario

La remoción del sedimentador varía para cada compuesto, y sin agregados químicos que faciliten la remoción, los metales pesados no se remueven en esta etapa. Ahora bien, estudios han demostrado que con el agregado de Sulfato de Aluminio se produce la deposición de metales pesados, en particular Cobre (Fontalvo, 2011) y Plomo (Avila Carhuallanqui, 2011). Se proponen 2 alternativas: el desarenador sin agregado de compuestos por un lado, y el agregado de coagulante PAC, con su correspondiente costo operativo, por el otro. El agregado del compuesto se hará mediante un ensanchamiento del caño previo al desarenador (Figura 36).

En tabla XXIII se enumera la remoción y el valor final de la primera alternativa y en tabla XXIV se establece la remoción con el agregado de Sulfato de Aluminio. Ambas tendrán su concentración final, las cuales servirán de cálculo para el humedal.

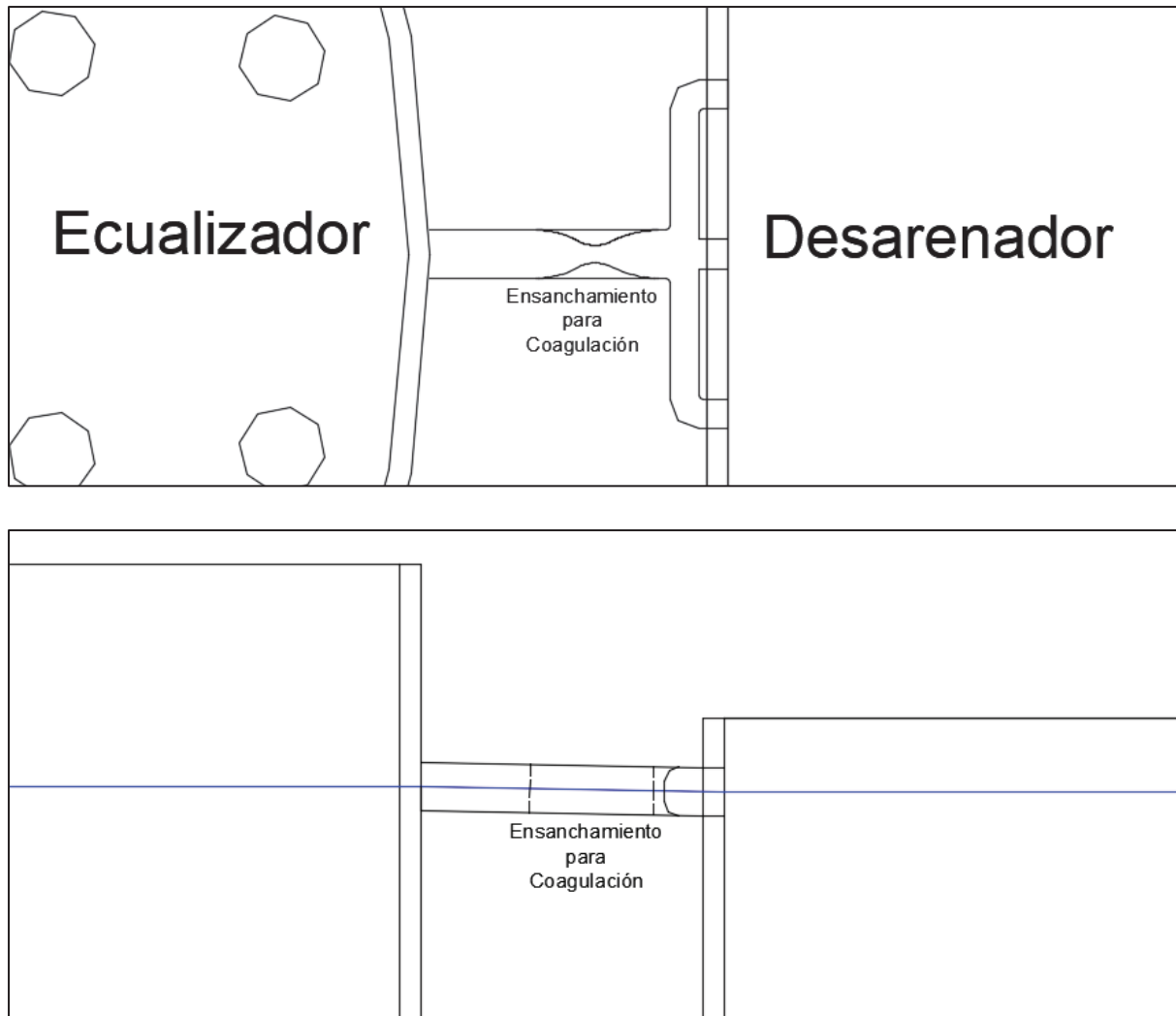


Figura 38. Detalle del ensanchamiento de cañería para lograr la agitación necesaria para la coagulación, en vista superior -arriba- y lateral -abajo (Fuente: Elaboración propia).

Tabla XXIII. Concentración final de cada compuesto de interés sin agregados (Elaboración propia)

Compuesto Contaminante	% Remoción	Co	Cf
Pb	10	8 ug/l	7,2 ug/l
Cr	10	4 ug/l	3,6 ug/l
Cu	10	9 ug/l	8,1 ug/l
PT	20	6 ug/l	4,8 ug/l
DBO	30	214 mg/l	150 mg/l

Nota: En el Plomo, Cromo y Cobre se adoptó una remoción del 10% compatiblemente con el proceso de neutralización y sedimentación.

Tabla XXIV. Concentración final de cada compuesto de interés con agregado de coagulante (Sulfato de Aluminio) (Elaboración propia)

Compuesto Contaminante	% Remoción	Co	Cf
Pb	70	8 ug/l	2,4 ug/l
Cr	50	4 ug/l	2,0 ug/l
Cu	70	9 ug/l	2,7 ug/l
PT	40	6 ug/l	3,6 ug/l
DBO	45	214 mg/l	118 mg/l

Humedal

Según Soto Fuster (2016), el dimensionamiento de los humedales artificiales se realiza en dos etapas. En la primera se determina la concentración de salida según la superficie de tratamiento (dimensionamiento biológico) y en la segunda se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico). (Soto Fuster, 2016).

Dimensionamiento biológico.

Para la obtención de las ecuaciones del dimensionamiento biológico se asume un flujo de agua en condiciones uniformes y que los humedales se comportan como reactores biológicos de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es:

$$\frac{dC}{dt} = -K_v * C$$

Siendo,

C la concentración del contaminante en mg/L.

K_v la constante cinética de degradación de primer orden, en días⁻¹. El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Si se integra esta ecuación entre la concentración inicial de contaminante o afluente (C_0 para $t=0$) y la final o efluente (C_1 para $t=t$, siendo este el tiempo de retención hidráulico, en días) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-Kv * t)$$

El tiempo medio de retención hidráulico es:

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{\epsilon * S * h}{Q}$$

Siendo,

V el volumen del humedal, en m³.

Q el caudal medio, en m³/día.

€ la porosidad, porcentaje.

S la superficie del humedal en m².

h la profundidad media del humedal, en m.

Sustituyendo t en las dos ecuaciones anteriores y definiendo una nueva constante cinética de primer orden (Ka, en m/d):

$$Ka = Kv * \epsilon * h$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(-Ka * \frac{S}{Q}\right)$$

Para obtener la concentración final de cada contaminante, despejamos C₁:

$$C_1 = \exp\left(-Ka * \frac{S}{Q}\right) * C_0$$

Esta es la ecuación de diseño recomendada para dimensionar la superficie de los humedales artificiales. Los valores de Q y C₀ se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de superficie se define a partir del área establecida para tal fin. El valor de K_a varía según el contaminante. Para nuestro caso, que tenemos varios compuestos de interés, se adoptó un K_a para cada uno de ellos y la concentración de salida del humedal, los cuales se pueden ver en la tabla XXV y XXVI (Soto Fuster, 2016), cada una acopla la alternativa del sedimentador.

Tabla XXV. Constante de degradación de primer grado (K_a) y concentración de salida, según primer alternativa (sin coagulante) (Elaboración propia).

Compuesto Contaminante	Normativa aplicable	Límite normado	Co	K_a (m/d)	Cf
Pb	Dec 831/93	< 2 ug/l	7,2 ug/l	0,0008	5,4 ug/l
Cr	Dec 831/93	< 2 ug/l	3,6 ug/l	0,0009	2,6 ug/l
Cu	Dec 831/93	< 2 ug/l	8,1 ug/l	0,0009	4,8 ug/l
PT	Res 46/17 Acumar	< 10 ug/l	4,8 ug/l	0,02	2,3 ug/l
DBO	Res 46/17 Acumar	< 5 mg/l	150 mg/l	0,069	12,4 mg/l

Tabla XXVI. Constante de degradación de primer grado (K_a) y concentración de salida, según segunda alternativa (con coagulante) (Elaboración propia).

Compuesto Contaminante	Normativa aplicable	Límite normado	Co	K_a (m/d)	Cf
Pb	Dec 831/93	< 2 ug/l	2,4 ug/l	0,0008	1,80
Cr	Dec 831/93	< 2 ug/l	2,0 ug/l	0,0009	1,44
Cu	Dec 831/93	< 2 ug/l	2,7 ug/l	0,0009	1,60
PT	Res 46/17 Acumar	< 10 ug/l	3,6 ug/l	0,02	1,75
DBO	Res 46/17 Acumar	< 5 mg/l	117,7 ug/l	0,069	9,77

Tabla XXVII. Comparación de la concentración final del tratamiento sin operación terciaria con la normativa vigente (Fuente: Elaboración propia)

Compuesto Contaminante	Cf	Res. ADA N° 42/06		Res. Acumar N° 46/17				
		Agua dulce y marina para uso recreativo, en la zona del Río de la Plata y su frente marítimo	Agua dulce como fuente de agua potable	Uso I a	Uso I b	Uso II	Uso III	Uso IV
Pb (ug/l)	1,8	25	10	< 2	< 2	< 50	*	*
Cr (ug/l)	1,4	125	50	< 2	< 2	< 50	*	*
Cu (ug/l)	1,6	5000	2000	< 9	< 9	< 200	*	*
PT (ug/l)	1,7	25		< 10	< 10	< 1000	< 5000	< 5000
DBO (mg/l)	9,8	10	10	< 5	< 5	< 10	< 15	< 15

La Tabla XXV – Resumen pretende comparar la concentración final de salida del efluente tratado (sin tratamiento terciario aún) con la normativa de Acumar y ADA. Se vera una discusión de los resultados en el apartado de Discusiones y Conclusiones.

Dimensionamiento hidráulico.

El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la ley de Darcy, que describe el régimen de flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K_s * A_s * s$$

Q: el caudal, en m³/día.

K_s: es la conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en m³/m².día.

A_s: es la sección del humedal, perpendicular a la dirección del flujo, en m².

s: es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m.

La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado. La conductividad hidráulica con el paso del tiempo se va reduciendo por retención de sólidos y crecimiento de biofilm, especialmente en la zona de entrada. En la siguiente tabla XXVI se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (K_s) para algunos materiales granulares limpios que podrían utilizarse como sustrato de estos sistemas.

Tabla XXVIII. Porosidad y conductividad hidráulica para distintos tipos de sustrato utilizados en humedales (Fuente: Reed, S.C., Crites, R.W. y Middlebrooks, E.J. (1995))

Tipo de Sustrato	Tamaño Efectivo D ₁₀ (mm)	Porosidad (%)	Conductividad Hidráulica K _s (m ³ /m ² *día)
Arenas Graduadas	2	28-32	100-1.000
Arenas Gravasas	8	30-35	500-5.000
Gravas Finas	16	35-38	1.000-10.000
Gravas Medianas	32	36-40	10.000-50.000
Rocas Pequeñas	128	38-45	50.000-250.000

Como el sustrato será mayormente gravas medianas se obtiene K_s

$$K_s = 25000 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$$

Los valores de la pendiente (s) que se suelen utilizar varían en el rango de 0,01 a 0,02 m/m. Valores superiores a 0,02 m/m encarecen los costes de excavación (Cooper,1996). Como nuestro humedal sufre de inconvenientes en superficie y no en altura, adoptaremos pendiente de 0,025

Para calcular el ancho, tomo la ecuación siguiente: como el caudal deberá pasar por la superficie de la sección (alto . ancho, h . b) a una velocidad dada (conductividad hidráulica . pendiente), armo la ecuación y despejo el ancho:

$$Q = b \cdot h \cdot K_s \cdot s$$

$$b = \frac{Q}{h \cdot K_s \cdot s}$$

Nótese que esta ecuación es la misma que Soto Fuster explyaya

$$A_s = \frac{Q}{K_s * s}$$

Entonces, despejo b de la primera ecuación:

$$b = \frac{2,64 \frac{m^3}{s} \cdot \frac{86400 s}{día}}{0,6 m \cdot 25000 \frac{m^3}{m^2 \cdot día} \cdot 0,025} = 608 m$$

Con el ancho, puedo encontrar el largo (L). Utilizando la superficie del humedal, propongo:

$$L = \frac{Sup}{b} = \frac{35000}{608 m} = 57 m$$

Este largo facilita la operación para aplicar 6 humedales unitarios de 103 m de ancho por 57 m de largo, con un área individual de 5871 m² (Figura 43, página 118). El corte con las distintas porosidades del humedal se visualiza en la Figura 39.

Plantas.

Para saber la cantidad de plantas, se adoptará una densidad de un plantin de *I. sultanii* cada 25 cm, y de *L. perenne* cada 20 cm, haciendo una fila de cada especie cada 25 cm en dirección del caudal.

$$8 \frac{\text{unidades de } I. \text{Sultanii}}{\text{m}^2} + 10 \frac{\text{unidades de } L. \text{perenne}}{\text{m}^2} = 18 \frac{\text{plantines}}{\text{m}^2}$$

Entonces, para 5871 m² se tendrán 105.678 plantas por cada módulo unitario de humedal (46.968 de *I. sultanii* y 58.710 de *L. perenne*). El espacio intermedio entre los humedales servirá de camino y para el transporte del efluente de entrada y salida.

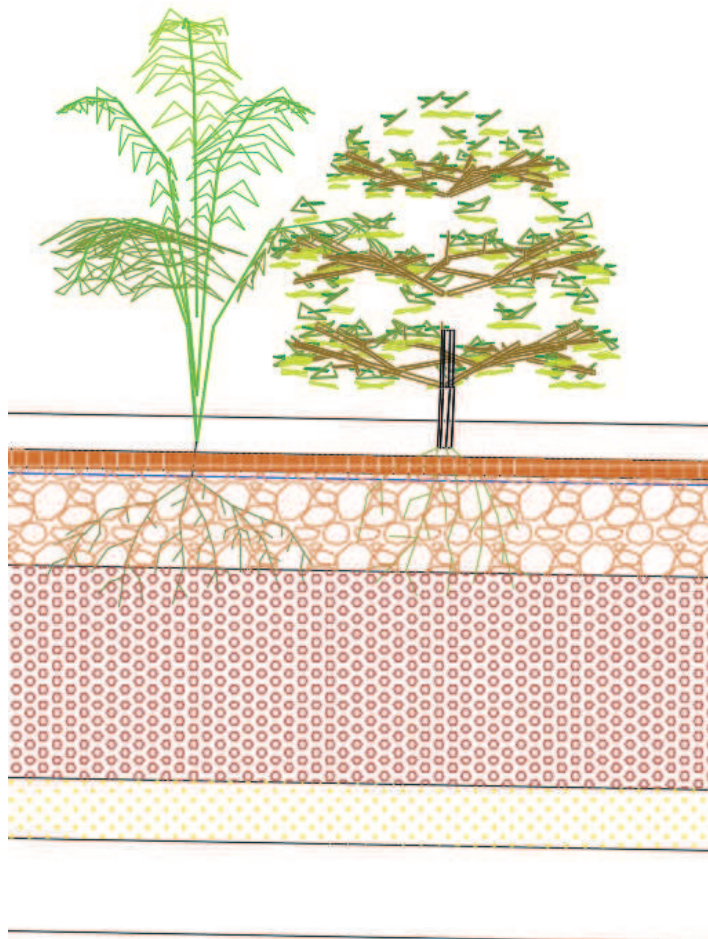


Figura 39. Corte longitudinal del humedal donde se ve la disposición de las gravas y las plantas (Elaboración propia)

Diseño Hidráulico de la planta de remediación

El efluente dentro de la planta de tratamiento se moverá en su mayoría por gravedad, pero su transporte incurre naturalmente en pérdidas energéticas por rozamientos y accesorios que deben ser repuestas mediante la altura del pelo de agua. Es decir que el fluido, al no ser perfecto y tener viscosidad no nula, y, aumentado este efecto por rozamientos con las paredes del caño, tiende a retrasar el normal flujo dentro de la tubería, lo que produce un ‘efecto tapón’ que

aumenta la altura del pelo de agua al inicio del trayecto (ya que no puede salir por este efecto de taponamiento y la constante llegada de efluente) y debe ser dispuesto en pendiente que pueda suplir esa tendencia y empujar el caudal hacia aguas abajo.

Esa altura se logra calcular mediante la ecuación de Bernoulli, la cual se dispone a continuación

$$\frac{d}{dt} \int_{V_c} \rho \left(\frac{v^2}{2} + g \cdot z \right) dV = - \int_{S_c} \rho \left(\frac{\langle v \rangle^2}{2} + g \cdot z + \frac{P}{\rho} \right) (\vec{v} \cdot \mathbf{n}) dS \pm \dot{W}_{\text{eje}} - \left| \dot{W}_{\text{Fricción}} \right| \pm \dot{W}_{\text{Exp/Comp}}$$

Los supuestos para que esta ecuación modele el efluente deben ser los siguientes:

- El efluente será incompresible y no modificará sus propiedades.
- El régimen será estacionario, es decir, no habrá variaciones de volumen ni caudal en el tiempo.
- Se conservará la masa. Tomamos el volumen de los analitos que quedarán en el medio como nulo y la evaporación en el sistema previo al humedal como despreciable.
- El sistema deberá tener una entrada y una salida.

Para calcular la pérdida de carga, trabajaremos resolviendo esa ecuación, eliminando primeramente el término variable en el tiempo (el primer término, visualizado a la izquierda del igual), cancelando los términos iguales entre el estadio inicial y final y dividiendo por masa y gravedad para obtener alturas como unidad:

$$0 = h_1 - h_2 - h_{fric}$$

$$h_{fric} = h_1 - h_2$$

h_1 = Altura del estadio inicial (aguas arriba, al inicio de sistema).

h_2 = Altura del estadio final (aguas abajo, al final del sistema)

h_{fric} = Altura provocada por las fuerzas de fricción. Pueden ser rozamiento como utilización de accesorios (válvulas, codos, etc)

Es decir, la altura de la fuerza de fricción producida por el fluir del líquido por la cañería y tratamientos da por resultado una variación entre las alturas de los procesos. Esto será evaluado en cada proceso por separado, según Tabla XX.

El fluido se moverá con flujo laminar o turbulento, según el valor de Reynolds. Este valor cambiará según la sección del contenedor. Todos los otros parámetros los asumo constantes.

$$Re = \frac{Dv_{\infty}\rho}{\mu}$$

Las pérdidas de carga por los accesorios se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = K_{acc} \frac{\langle v \rangle^2}{2|\bar{g}|}$$

Tabla XXIX. Cálculo de pérdidas de carga por fricción (Fuente: Elaboración propia)

Parte de planta	Distancia (L)	Vel (m/s)	Diám	fanning	Accesorios	Kacc	h	
Caño desbaste - Ecuador	10,71	0,8	1	0,002645	1 valvula de compuerta	0,15	0,009	
Ecuador	17,15	0,8	1	0,001375	1 valvula de compuerta	0,15	0,008	
Caño Ecuador - Primario	1,85	0,8	1	0,002645	4 codos 90°	1,6	0,053	
Tratamiento Primario	21	0,8	1	0,000555	1 valvula de compuerta	0,15	0,006	
Caño Primario - Humedal	170	0,8	1	0,002645	7 codos 90°	2,8	0,150	
Humedal		0,8	1	0,002645	1 valvula de compuerta	0,15	0,005	
Humedal - Terciario/CTM	256	0,8	1	0,002645	11 codos 90°, 1 valvula de compuerta	4,55	0,237	
Total								0,468

La Tabla XXVII no tuvo en cuenta la pendiente del humedal, ya que la misma fue tomada por bibliografía (pendiente 1%). La altura de este tratamiento es de 3,5 m

En Anexos se puede observar un plano del pelo de agua a lo largo de todo el sistema de remediación.

Lixiviado

Contenedor

El contenedor servirá para medio humedal, ya que las plantas se irán degradando paulatinamente, de adelante hacia atrás, y será mas fácil tratar medio humedal por vez. El cajón donde se hará el lixiviado deberá satisfacer un volumen total de 3522 m^3 . Esto es requerido para bajar el pH y garantizar que la tierra se sumerja y los metales puedan solubilizarse. En total será un volumen de 1980 m^3 (50 cm de revancha) para evitar derrames del líquido. La forma que adoptaremos será cuadrada para que la alimentación pueda realizarse desde varios frentes y que la misma sea ordenada.

Alto: Se plantea una batea de 4,5 m de altura (4 m operativos con una revancha de 0,5 m).

$$\text{Superficie: } \frac{\text{Vol}}{\text{alto efectivo}} = \frac{3522 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} = 440 \text{ m}^2$$

$$\text{Alto} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Adopto Ancho} = 22 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = \frac{\text{Superficie}}{\text{Ancho}} = \frac{440 \text{ m}^2}{22 \text{ m}} = 20 \text{ m}$$

En la Figura 38 y 39 se puede observar un croquis del diseño, con pendiente 1° hacia la cámara. En la Figura 40 se puede ver la vista superior de la planta entera.

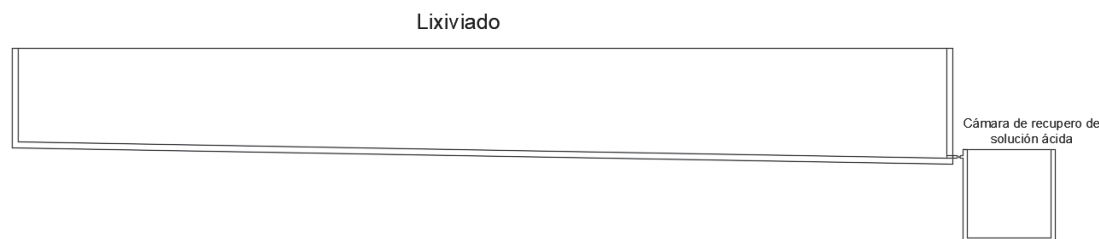


Figura 40. Vista lateral del cajón de Lixiviados (Elaboración propia)

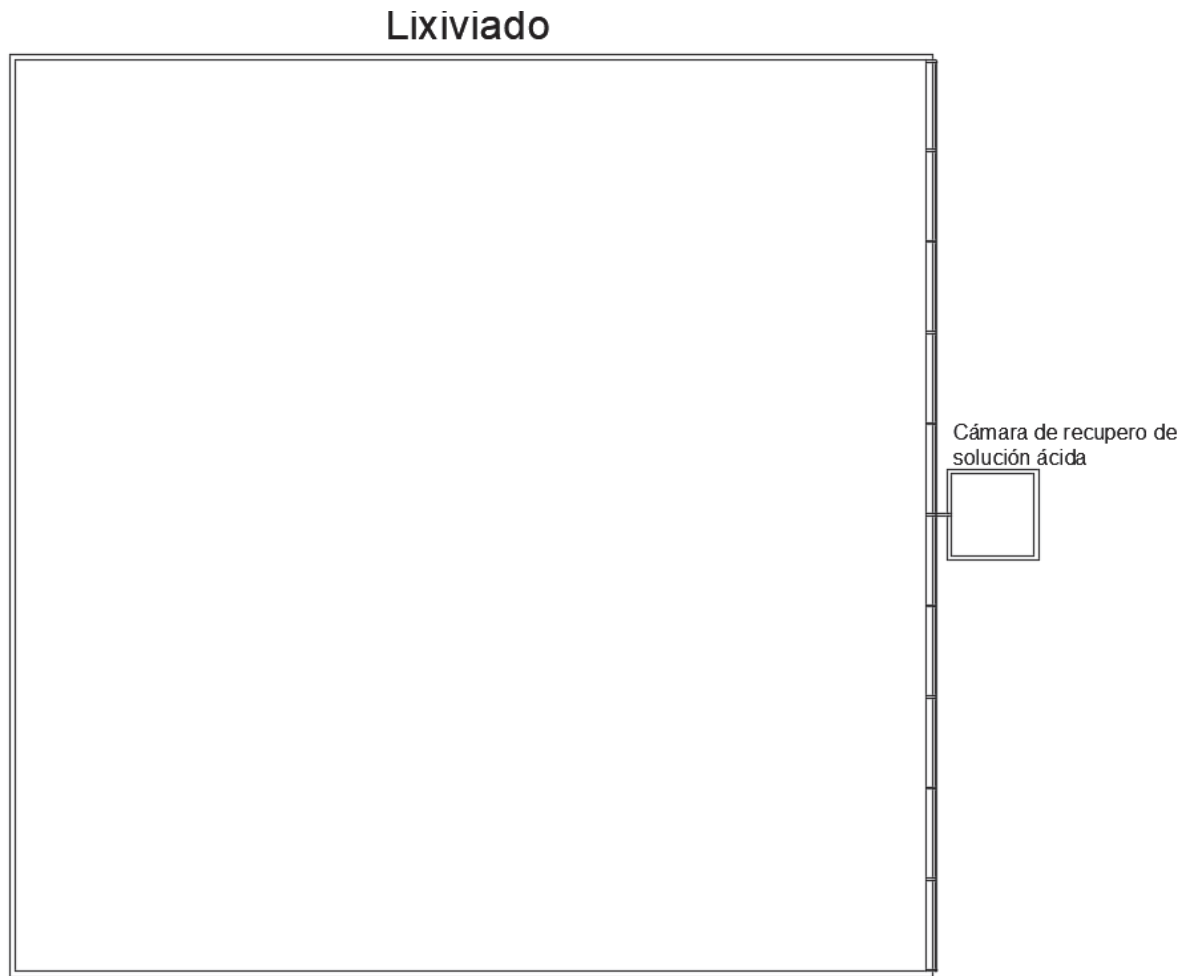


Figura 41. Vista superior del cajón de Lixiviados (Elaboración propia)

Operarios

Para la operación de la planta de tratamiento se deberá contar con personal en cada etapa, que monitoreen el efluente y los componentes físicos que compone cada tratamiento.

Se detalla en la Tabla XXVII la cantidad de personal para cada etapa y los roles necesarios para trabajar la planta de manera adecuada. Como puede apreciarse, se discriminó por alternativa, dado mayor cantidad de operarios que al tener coagulante aumenta la actividad en el tratamiento primario (más barros para retirar, seguimiento más detallado del proceso)

Tabla XXX. Cantidad de operarios por sector dentro de la planta (Elaboración propia)

Area	Tipo Personal	Cant. Personal 1	Cant. Personal 2	Tumos	Total personal 1	Total personal 2
Desbaste	Operario	1,5	1,5	3	4,5	4,5
Trat. Primario	Operario	2	1,5	3	6	4,5
Humedal	Operario	2	3,5	3	6	10,5
Lixiviado	Operario	3,5	4,5	1	3,5	4,5
Laboratorio	Técnico	2	2	1	2	2
Administración	Administrativo	2	2	2	4	4
Administración	Ingeniero Ambiental	1	1	3	3	3
				Total	24,5	28,5

Monitoreo

Para garantizar el correcto funcionamiento de la planta, se deberán realizar análisis periódicos del arroyo antes y después de la remediación y el suelo luego del lixiviado. Se deberán tener en cuenta analitos en laboratorio y propiedades organolépticas. Estos análisis se harán internamente mediante laboratorio y personal técnico capacitado.

Por otro lado, para ver el grado de impacto de la operación en el ambiente circundante se deberán realizar monitoreos de suelo, napa freática y emisiones gaseosas. Estos análisis serán realizados mediante licitación por laboratorio inscripto en OPDS, con cadena de custodia. Anualmente, también se solicitará un análisis de efluente saliente bajo esta modalidad.

Una descripción detallada se puede ver en la Tabla XXVIIA.

Tabla XXXI. Descripción de los monitoreos internos y externos a realizarse (Fuente: Elaboración Propia)

Medio a analizar	Analitos	Cantidad	Periodo	Lugar	Laboratorio
Efluente ingresante	Pb, Cr, Cu, PT, DBO	8	Mensual	Desbaste	Interno
Efluente saliente	Pb, Cr, Cu, PT, DBO	8	Mensual	CTM	Int./Ext.
Agua freática	Pb, Cr, Cu, PT, DBO	3	Anual	Freatímetros	Externo
Suelos	Pb, Cr, Cu, PT, DBO	1	Anual	Distribuidos	Externo
Lixiviado	Pb, Cr, Cu, PT	4	Anual	Lixiviado	Interno
Emisiones gaseosas	Pb, CO2	1	Anual	Humedales	Externo

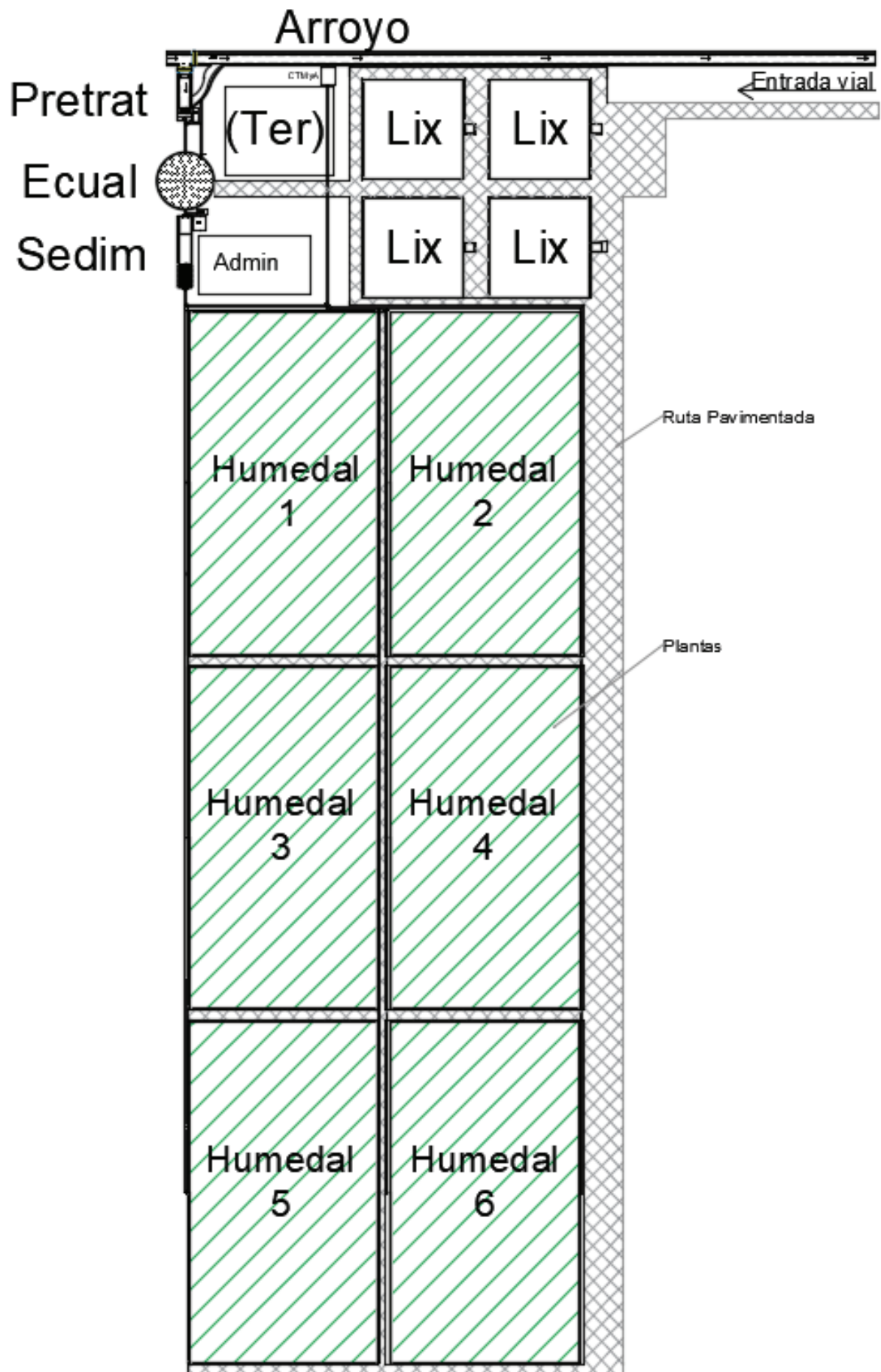


Figura 42. Vista superior de la planta de tratamiento (Elaboración propia)

Análisis Económico para la planta de tratamiento

El análisis económico de la planta constará de dos elementos clave: el costo inicial de construcción de la infraestructura y, luego, los costos operativos para mantener la planta funcionando y en condiciones. Éstos últimos incluyen tanto el costo del personal (salarios, consumibles, entre otros) como mantenimiento de las distintas operaciones, aditivos para agregar al efluente, etc.

El costo inicial, desarrollado en la Tabla XXXIIa, fue separado por cada operación de la planta y otros requerimientos (como laboratorio, oficinas y calles transitables). El costo operativo, en la Tabla XXXIIb, fue discriminado por gastos, de manera de analizar en un futuro mejoras del mismo mediante tecnología o desarrollo de nuevos procesos.

Tabla XXXII. Costo inicial

Unidad funcional	Descripción	Costo		Cantidad	C
		Precio unitario	Unidad		
Presas	Diseño	3000	USD/h	10	
	Estructura	50000	\$/unidad	2	
	Cadenas	250	\$/m	6	
	Motor	35000	\$	1	
	Energía	25	\$	3500	
Rejas	Estructura	10000	\$	1	
	Motor	25500	\$	1	
	Energía	25	\$	350	
Ecuilizador	Estructura	80000	\$	1	
	Aireadores	5500	\$	57	
	Bomba	25500	\$	1	
Sedimentador	Estructura	150000	\$	1	
	Bomba	25500	\$	1	
Humedal	Estructura	200000	\$	1	
	Grava y arena	220	\$/m3	3522	
	Plantas (para los 6 humedales unitarios)	40	\$/planta	105678	\$
	Geomembrana	400	\$/m2	5871	\$
Lixiviado y lavado	Estructura	40000	\$	1	
	Agua de lixiviado	6000	\$	1	
	Retroexcavadora	1600000	\$	1	\$
	Contenedores para disposición	40000	\$	2	
Proceso terciario CTMyA	Estructura	25000	\$	1	
Estructura general	Desmatado y Nivelado de suelo	1500000	\$	1	\$
	Cañería	38000	\$	1	
	Paso de hombre	30000	\$	1	
	Calles internas	60000	\$	1	
	Superficie	1000	\$/m2	6000	\$
	Oficina / laboratorio	750000	\$	1	

Total genera

Costo Operativo

Item	Descripción	Costo unitario	Alternativa 1	Alternativa 2	C
Personal	Operarios	121500	20	24	
	Administrativos	121500	4	4	
	Técnicos	170000	2	2	
	Ingeniero Ambiental	243000	3	3	
Insumos	Electricidad (usuario G2)	8,773	550	440	
	Elementos de protección personal	7000	29	33	
	Agua potable (litros)	90	87	99	
Monitoreo	Interno	12500	16	16	
	Externo	80000	0,08	0,08	
Predio	Alquiler (5,5 has)	70000	1	1	
	Mantenimiento	150000	1	1	
			Total general		

Estudio de Impacto ambiental

Introducción

El aumento de la preocupación medioambiental ha crecido a pasos agigantados sobre todo durante los últimos 20 años. Hoy en día es importante la atención pública e institucional en el tema.

En la actualidad existen claros indicios que la civilización técnica-industrial puede llegar a un punto de inflexión, debido a que la actual tendencia de desarrollo genera peligros por la sobreexplotación de recursos y antropización del mundo. Riesgos que aumentan en la misma proporción que intentan favorecer la calidad de vida del ser humano.

El objetivo del “desarrollo sostenible o sustentable” da un marco ambiental adecuado para el mantenimiento del equilibrio medioambiental tanto para cortos o largos plazos.

La relación entre la naturaleza y la actividad humana denota la necesidad de realizar la tarea en forma interdisciplinaria, es decir con la participación de diferentes ramas de las ciencias naturales, con la ingeniería, la sociología y las ciencias de la tierra, entre otras. Considerando que no es estática ni fija, es necesario tener en cuenta el desarrollo y los cambios de las diferentes etapas. Además, resulta de gran importancia la participación de toda la comunidad para conservar nuestro hábitat.

La antropización del medio ambiente, producto de los procesos de evolución y cambio, ha hecho imprescindible la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental de todo proyecto y/o actividad.

Ante este paradigma, se desea remediar el arroyo El Claro en el límite que demarca el fin de una gran zona industrial, abriendo paso a zonas residenciales. El proyecto de remediación del arroyo El Claro deberá contar con la elaboración de un informe claro y conciso que permita identificar, predecir, ponderar, comunicar, interpretar y prevenir los efectos y/o cambios que las acciones producidas por la actividad puedan ocasionar.

El presente trabajo es un paso inicial fundamental para el alcance y logro de sus estrategias y objetivos ambientales.

Objetivos

1. Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental de la planta de tratamiento de remediación de Plomo, Cromo, Cobre, PT y DBO en el arroyo El Claro en la localidad de Benavidez, Partido

de Tigre, dando cumplimiento al Decreto 531/19 de la Ley N° 11.459/93 de la Provincia de Buenos Aires, a fines de obtener el Certificado de Aptitud Ambiental.

2. Obtener una visión global del proceso y flujo de materiales.
3. Recopilar información sobre operaciones, materias primas, insumos, productos, consumos y residuos.
4. Definir fuentes, cantidades y tipos de residuos que se generan.
5. Determinar el destino, tratamiento y/o disposición de los residuos generados.
6. Identificar procedimientos, documentación, informes y registros relacionados con la gestión ambiental.
7. Analizar que los parámetros relevantes de la gestión ambiental cumplan con la legislación aplicable.
8. Evaluar los impactos ambientales derivados de las acciones de la dirección de la planta.
9. Definir las acciones apropiadas para la mitigación de los impactos significativos.

Alcance

El alcance del estudio es el siguiente:

- Desarrollar el Diagnóstico del Sistema Ambiental del área de localización de la planta de tratamiento de remediación de los compuestos en estudio en el arroyo El Claro, profundizando el conocimiento de las variables críticas del medio natural y social.
- Analizar los efectos de la planta sobre el medio ambiente y de la dinámica del medio sobre la planta, definiendo las áreas de influencia.
- Producir la información ambiental necesaria para definir los tratamientos de emisiones y descargas.
- Identificar las normas técnicas y de procedimientos administrativos para la vigilancia ambiental.
- Verificación del cumplimiento por parte de la Planta de las Normas identificadas.

Metodología del estudio

El Estudio de Impacto Ambiental se realizó en tres fases:

Preparación del Estudio

Las tareas realizadas para la preparación del presente estudio incluyeron:

- a) Definición de objetivos, alcance, límites y nivel de detalle del estudio.
- b) Especificación de las Leyes y Reglamentos aplicables.
- c) Estudio previo del proceso:
 - División en operaciones unitarias y elaboración de diagramas de flujo.
 - Recopilación de información sobre operaciones, materias primas, insumos, productos, consumos y residuos.
 - Definición de fuentes, cantidades y tipos de emisiones, efluentes y residuos que se generan.
 - Comprobación del destino, tratamiento o disposición de los residuos generados.
- c) Confección de un Programa por sector.
- d) Preparación y organización del equipo.
- e) Confección de un Plan de realización del estudio de impacto ambiental.
- f) Coordinación general con todos los integrantes

Marco Legal

Este proyecto debe enmarcarse en la normativa aplicable de la autoridad de aplicación y las normas de entes gubernamentales, provinciales y nacionales. Las mismas se describen a continuación y son la base legal desde la cual se apoya este proyecto.

Normativa Nacional.

La normativa nacional enmarca los lineamientos de cada parte del proceso, desde los objetivos primarios de las acciones de mejorar el ambiente, la regulación de los residuos sólidos urbanos, industriales y peligrosos, la gestión de las aguas, la gestión del personal trabajador, la divulgación ambiental en todas sus formas, entre otras, que pueden utilizarse para explicar todas las partes de este proyecto ya que toda mejora del medio ambiente repercute en la calidad de vida de las personas, y que sirve también para explicar las razones por las cuales es positivo toda infraestructura que mejore la calidad de aguas arriba de barrios con viviendas y su población.

A continuación, se citan algunas leyes nacionales pertinentes a este proyecto:

- Constitución Nacional, Artículos 41, establece el derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo.
- Constitución Nacional, Artículo 124, enmarca que a las provincias le corresponde el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, y pueden explotarlas y regularlas mediante normativa aplicable que ellos consideren.
- Ley 25.675: Ley General del Ambiente, establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sostenible
- Ley 25.612: Gestión Integral de Residuos Industriales y de Actividades de Servicios, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional y derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.
- Ley 24.051: Gestión de Residuos Peligrosos, establece los parámetros para la generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos en todo el territorio.
- Ley 25.688: Régimen de Gestión Ambiental de Aguas, establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional y la utilización de las aguas
- Ley 24.557: Ley de Riesgos de Trabajo, propone las directrices de seguridad operativa que deben tener todos los trabajadores
- Ley 25.831: Ley de Información Ambiental, explicita el acceso a la información ambiental y la gestión de las solicitudes de información ambiental.
- Ley 2.873: Ley general de ferrocarriles nacionales, expone las reglamentaciones de las edificaciones y terrenos aledaños, entre otras cosas.
- Ley 14710: Creación Del Comité De Cuenca Del Río Luján (COMILU), establece los parámetros de acción, el alcance y el lugar de residencia del comité (La Plata).

Normativa provincial.

A las provincias, por el artículo 124 de la CN, le corresponde el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio, tanto así como explotarlos y regularlos mediante normativa aplicable. Abajo se expone la legislación provincial que atañe a este proyecto.

- Ley 11.723: Ley Integral de Medio Ambiente, sienta las bases para el cuidado del medio ambiente.
- Ley 11.459: Ley de Radicación Industrial, ordena a todas las empresas a tramitar el Certificado de Aptitud Ambiental, enumera el proceso para cada empresa y los pasos que deberán hacer, entre ellos el CNCA (Clasificación del Nivel de Complejidad Ambiental), la habilitación de planta y el alta
- Ley 14343: Ley de pasivos ambientales, regula la identificación de los Pasivos Ambientales.
- Ley 24.557: Ley de Riesgos del trabajo,
- Ley 13592: Gestión integral de los residuos sólidos urbanos.
- Ley 11720: Residuos Especiales, gestiona todas las instancias relacionadas con estos residuos.
- Ley 25688: Régimen de gestión ambiental de aguas, regula las aguas de la provincia y sus efluentes y cuencas.

Autoridades de aplicación nacionales y provinciales.

Las autoridades de aplicación son entidades gubernamentales encargadas del cumplimiento de lo ordenado y establecido en una norma reguladora. De acuerdo a un régimen federal, las autoridades de aplicación pertenecen al orden nacional, provincial y/o municipal. En el proyecto a ejecutar, las autoridades de aplicación diferirán según el lugar y grado del impacto ambiental.

- ADA, es la Autoridad del Agua, encargada de proteger y regular las aguas superficiales y subterráneas.
- OPDS: es el organismo contralor y encargado de cuidar al medio ambiente. Presenta muchas áreas de cuidados, como protección de bosques nativos, emisiones gaseosas, residuos especiales, industrias, entre otras.
- Municipio de Tigre: Es la autoridad gubernamental mas próxima en distancia y la que debiera estar más alineada con el proyecto. A esta autoridad de aplicación se debe ir inicialmente para tramitar los permisos ambientales.

En el siguiente apartado se presenta el estudio de impacto ambiental asociado a la construcción, operación y cierre de la planta del arroyo El Claro, en la provincia de Buenos Aires.

De esta manera se busca cumplimentar lo regulado en la Ley Integral del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley n° 11.723) de la Provincia de Buenos Aires. La misma señala la necesidad de obtención de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) expedida por la Autoridad Ambiental Provincial o Municipal a partir de la presentación de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en función de la categorización industrial de la misma. La DIA es un requerimiento necesario para la expedición del Certificado de Aptitud Ambiental (CAA).

Medio Ambiente Físico

Recursos Hídricos.

Superficial.

Área de influencia

El predio en estudio está ubicado en la zona de la cuenca del Río Lujan.

Río Lujan

Este es el colector principal de la cuenca y constituye el límite Suroeste del Delta del Río Paraná, formando parte de la gran cuenca del Paraná y del Río de La Plata.

Este río atraviesa el partido de Tigre y compromete del mismo el 28 % de su territorio por la extensión de su cuenca. Todo el recurso tiene una extensión de 128 Km hasta desembocar en el Río de la Plata en el límite con el partido de San Fernando. Presenta un caudal medio de 5,37 m³/seg.

En términos generales las características químicas y bacteriológicas del Río Lujan son similares a las que presenta el Río de La Plata, por recibir también los efluentes del cinturón industrial Rosario- Buenos Aires.

En su curso superior, debido a que corresponde a un sector menos poblado y de actividades predominantemente agropecuarias, no presenta altos niveles de contaminación. Cuando empieza a cruzar la zona media aparecen contaminaciones puntuales, pero a medida que cruza las zonas urbanizadas de mayor actividad, sobre todo la industrial, su calidad va viéndose afectada.

A modo de ilustración, cabe destacar algunos datos comparativos de calidad de aguas

en el Río Lujan. Los mismos se detallan a continuación, en la Tabla XXX, mostrando DBO₅, y Oxígeno consumido a lo largo de su curso:

Tabla XXXIV. DBO₅ y Oxígeno consumido comparados a lo largo del curso (Elaboración propia)

Muestra	Ruta 41	Cruce R/ Olivera- Goldney	Cruce Jauru- Flania	Ruta 7	Ruta 8
DBO₅	3.2	0.5	6.3	1.6	3.5
Oxígeno consumido	3.3	27	21	32	22.5

Muestra	Ruta 9	Frente Centro turístico A.C.A.	Aguas arriba desembocadur a Reconquista	Aguas arriba desembocadur a Tigre	Náutico San Fernando
DBO₅	4.5	1.2	1	1.3	1.3
Oxígeno consumido	25	7.4	7.8	8.6	10

Fuente: Evaluación Ambiental de los Recursos Hídricos del Sistema Metropolitano Bonaerense (SSMA, MSPyMA, 1981)

Subterráneo.

Se describen a continuación las unidades geológicas que conforman el suelo y subsuelo de la región donde se ubica la planta (planicie de inundación del sistema de los ríos Lujan- Paraná- Plata, al Noroeste del Gran Buenos Aires y en la región hidrogeológica conocida como Noroeste de la Provincia de Buenos Aires), caracterizándolas desde el punto de vista estratigráfico y mencionando especialmente su comportamiento hidrogeológico. La descripción se inicia por las unidades superiores (las más modernas) pues son las que poseen una vinculación directa con las fases atmosférica y superficial del ciclo hidrológico.

“Postpampeano”: Pleistoceno superior-Holoceno. Se agrupa bajo esta denominación a un conjunto de sedimentos limo-arcillosos y arenosos de origen fluvial, lacustre y marino, acumulados en sectores topográficamente deprimidos. Comprende las formaciones Lujan, Querandí y La Plata.

El Postpampeano es discontinuo, restringiéndose a los valles menores de los arroyos y ríos, y la planicie costera que se extiende como una faja paralela a la costa del Río de la Plata y en partes a la ribera del Río Lujan, entre la costa y la cota de 5msnm (escalón) y transversalmente a los cauces, hacia las terrazas altas, donde se acuñan contra el pampeano.

“Pampeano”: (Pleistoceno medio-superior). Se incluye en esta unidad, también conocida como “Sedimentos Pampeanos”, a las formaciones Ensenada y Buenos Aires, pues tienen grandes similitudes tanto litológicas como hidrológicas.

El Pampeano se ubica por debajo de la cubierta edáfica en los sitios topográficamente elevados e intermedios (terraza alta) y subyace al Postpampeano en los ambientes bajos.

Está compuesto por limo arenoso de origen eólico y fluvial, de aspecto loessoide, con abundante vidrio volcánico y CaCo₃ pulverulento, nodiforme y estratiforme (“tosca”).

La base del Pampeano generalmente es un estrato limo-arcilloso que se comporta como acuitardo y lo separa de las arenas Puelches infrapuestas.

El agua contenida en el Pampeano es bicarbonatada cálcica en los ámbitos de recarga, pero se transforma rápidamente en bicarbonatada sódica en el sentido del flujo subterráneo. Probablemente en esta evolución, tenga significativa importancia el intercambio de bases. Las aguas del Pampeano se utilizan profusamente en el ámbito rural y urbano donde no hay provisión de agua centralizada.

“Arenas Puelches”: (Plio-Pleistoiceno). Constituye una secuencia de arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, de tonalidad pardo amarillenta y estratificación gradada, por lo que suelen presentar tamaños gruesos hacia la base y muy finos y limosos hacia el techo. Sobreyacen en discordancia erosiva a las arcillas de formación Paraná y conforman el acuífero más importante del área estudiada, por su calidad y productividad.

Las arenas puelches son de origen fluvial, se extienden en forma continua en el subsuelo y ampliamente en el ámbito en estudio. En el Noroeste de la provincia de Buenos Aires ocupan 80.000 Km². Generalmente, su techo se emplaza entre 20 y 50m de profundidad y su espesor varía entre 20 y 40metros. Este acuífero se aprovecha para uso industrial. La productividad del acuífero Puelche varía entre 40 y 150 m³/h.

“Formación Paraná”: (Mioceno superior). Esta unidad, también conocida como “El Verde”, es de origen marino y está formada por una secuencia predominantemente arcillosa en la sección

superior, sobre las que se apoyan las Arenas Puelches. En la sección inferior predomina una granulometría arenosa hasta conglomeradita en algunas intercalaciones pelíticas. La formación Paraná es continua y registra un espesor de unos 200 m, de los que corresponden menos de 100 m, a la sección superior que se comporta como acuícludo y más de 100 m a la inferior que es predominantemente acuífera.

“Formación Olivos”: (Mioceno Inferior). Se apoya directamente sobre el basamento cristalino y presenta una distribución granulométrica similar a la formación anterior.

“Basamento Cristalino”: (Precámbrico). Está formado por rocas de aspecto gnesico, similares a las que afloran en Uruguay y las Sierras de Tandil, en el Sur de la provincia de Buenos Aires.

El perfil hidrogeológico típico de esta región de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por la existencia de las siguientes capas de agua desde la superficie hacia abajo.

- a. Acuíferos del “Pampeano”
- b. Acuífero freático

Su existencia como zona de saturación está condicionada a la presencia de cursos de agua superficiales. El caudal factible a extraerse del acuífero freático raramente supera los 1000 litros por hora, de un agua que por el contacto con la polución superficial provoca su contaminación bacteriológica principalmente. En las áreas alejadas de los cursos superficiales, la capa freática se manifiesta exclusivamente a través de incremento de la humedad del suelo, que es muy alta en la zona caracterizada por la presencia de humedales y sometida al régimen de inundaciones del sistema Lujan-Paraná-Plata y a la influencia de las mareas que sufre el estuario del Río de La Plata.

- c. Acuífero Semiconfinado

A profundidades variables entre más de 5 m y 10- 15 m, aproximadamente, alojada en terrenos limo arenosos, suele existir una segunda capa de agua. Es de carácter semiconfinada, ya que su techo no es una capa realmente impermeable, que permiten un cierto desplazamiento vertical. Propiedades similares tiene el lecho, aunque su grado de impermeabilidad es mayor (se trata de una arcilla limosa de coloración clara).

Este acuífero no es continuo; su existencia guarda una cierta relación con la capa freática, pero con una dispersión más amplia y al igual que esta suele manifestarse a través de un incremento de la humedad del suelo. No aporta caudales importantes, excepcionalmente 3.000 litros por hora, para la máxima depresión posible.

d. Acuífero “Puelche”

Aproximadamente entre los 20 y 25 metros, de profundidad, se alumbran las arenas Puelches. Se trata de una sucesión de materiales clásticos de variable composición granulométrica, predominando arenas de grano mediano a fino, con lentes de arena gruesa hasta conglomeradita y arena limosa. Estos últimos excepcionalmente pueden ocupar todo el espesor de la sucesión, que en esta zona alcanza unos 15 a 20 metros. Constituye una importante capa acuífera de carácter semiconfinado, con amplios sectores adecuadamente confinados, que hasta hace alrededor de 40 años llegaban a ser áreas surgentes.

El lecho del acuífero Puelche es un potente manto arcilloso verde azulado, de origen marino, correspondiente a la formación Paraná que se extiende, promediando valores, hasta más de 100 metros de profundidad.

El acuífero Puelche es la más importante fuente de provisión de agua potable de esta región de la Provincia de Buenos Aires. Su intensa explotación ha provocado un importante deterioro del equilibrio hidráulico de la capa de agua, reflejado a través de la profundización de la superficie piezométrica, que en otros sectores ha descendido por debajo del techo del acuífero, dando lugar a que este se comporte como una capa de agua libre a freática, y que la columna de agua disponible para deprimir llegue en casos extremos a no más de una decena de metros.

El caudal que se puede extraer, dependiente de la posición de la superficie piezométrica estática, es función de 3 variables: columna de agua disponible, composición granulométrica del acuífero y grado de interferencia por abundancia de pozos que extraen agua de la misma capa. En condiciones ideales, con coincidencia favorable de las tres variables, el caudal máximo es del orden de los 150.000 litros por hora.

Atmósfera.

Variables atmosféricas

Clima

Debido a la ubicación geográfica de la planta en consideración y por el comportamiento de los parámetros meteorológicos, el área se encuentra dentro de los climas templados.

La situación en una latitud media, la ausencia de cordones montañosos, la topografía de llanura y la presencia en las cercanías del área de una masa de agua importante, definen un clima templado sub- húmedo, sin estación seca.

Estas características climáticas, asociadas a la presencia de otros factores físicos, integra el predio comprendido por la planta y consecuentemente su área de influencia, al gran frente fluvial del sistema Paraná-Plata.

La información que se utiliza para la elaboración de este informe corresponde a la red oficial que opera según normas del Servicio Meteorológico Nacional. En tal sentido y dada su cercanía, se ha tomado como base la información sobre estadísticas climatológicas suministrada por la estación Don Torcuato Aéreo (que pertenece a la Regional Aérea Centro) Durante el periodo 1982-1990.

La temperatura media anual registrada fue de 17,4°, para los meses de verano la temperatura media fue de 23,2 °C y en invierno, 12.3 °C.

Particular importancia tienen los valores de humedad relativa, dado que en la zona son elevados y llegan al 73% anual.

En cuanto a las precipitaciones, el valor medio anual fue durante el periodo considerado de 1093,3 mm. Las mismas están distribuidas a lo largo del año (sin estación seca) aunque se destaca un periodo de máxima durante el mes de octubre con un valor medio de 168,3 mm.

Con respecto a los vientos, de acuerdo, a las direcciones, predominan los vientos de los cuadrantes Norte y Noreste. Los valores de la velocidad media anual oscilan entre los 12 Km/h y 17 Km/h. Anexos N° 20, 21, 22 y 23.

Se debe considerar que para el viento Sudeste, la frecuencia anual en escala de 1000 es de 91 y la velocidad media anual es de 17 Km/h.

Esto provoca una situación particular que afecta el escurrimiento natural, provocando de esta manera el ascenso del nivel de las aguas de ríos y arroyos a nivel local.

Se presentan los valores anuales promedio de:

- 96 días con cielo cubierto
- 123 días con cielo claro
- 36.8 días con tormenta
- 9.3 días con vientos fuertes (iguales o superiores a 43 Km/h).
- 6.8 días con heladas
- 25.1 días con niebla
- 95 días con precipitaciones.

Relación con el establecimiento.

La temperatura media anual es de 17,4 °C.(Estación Don Torcuato, SMN 1992). El máximo medio anual se registra en enero (25,1°C) y el mínimo durante julio (10,5°C).

Los vientos medios son de poca intensidad, del tipo brisa (8 a 11 Km/h), con lapsos totales de calma de 20% en otoño y 10% en primavera y principios de verano.

Las principales frecuencias anuales de destino eólico, se localizan en cuadrantes occidentales y el Noroeste, con lo que la eventual propagación de vectores productos de contingencias, se dirigirán con preferencia hacia ocupaciones industriales o zonas residenciales de poca densidad poblacional. De todas maneras, la distribución de intensidades medias por cuadrantes es homogénea, con lo cual los alcances son cuasiequidistantes más allá de sus probabilidades de ocurrencia.

Medio ambiente socioeconómico y de infraestructura.

El predio donde se hallan las instalaciones de la planta se encuentra ubicado en el Partido de Tigre. Dista 33 Km de la Ciudad de Buenos Aires.

Se puede acceder por medio de ferrocarril, proveniente de la estación de trenes Retiro de Capital Federal, y/o con varias líneas de colectivos, 60, 21, 15, entre otras, que comunican a distintos lugares como, estación Tigre, Pacheco, San Miguel, Liniers, Escobar y por la ruta Panamericana (Autopista del Sol) con el cruce de la calle Henry Ford.

El partido de Tigre configura la articulación entre la Región Metropolitana y el Delta del Paraná. Limita al norte, con el Río Paraná de Las Palmas; al Noroeste, con el Río de la Plata; al sudeste, con el Partido de San Fernando; al sudoeste, con el Partido de Malvinas Argentinas y al Noroeste, con el Partido de Escobar.

Densidad Poblacional.

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda (2001), el Partido de Tigre cuenta con una población de 301223 habitantes, que se distribuye en una superficie de 360 km², determinando una densidad de población de 836,72 hab/km².

La misma es inferior a la del gran Buenos Aires que tiene 2573,8 hab/km² y a la de ex Gral. Sarmiento con 4164,3 hab/km² y mayor a la de San Fernando con 172,37 hab/km².

En el período 1980-1991 presentó una tasa de incremento medio anual del 21,3%, mayor a la de San Fernando (7,6%) y a la provincia de Buenos Aires (14,1%) y menor a la de ex Gral. Sarmiento (25%).

Usos y ocupaciones del suelo.

Características Generales.

El predio de la planta está constituido por sedimentos fluviales aportados por el Río Paraná y provenientes de su muy vasta cuenca de avenamiento.

Actualmente, el área se encuentra disturbada por la acción antrópica, pues se han realizado obras de infraestructura vial, asentamientos industriales, explotaciones de tosca, complejos recreativos-deportivos, urbanizaciones, etc., con el levantamiento de terraplenes y relleno de los recintos producto de las áreas de préstamo que han modificado los suelos originales presentes.

Para clasificar los suelos por su capacidad de uso se ha seguido el sistema utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (1961), adaptado para su aplicación en nuestro país, especialmente en áreas agrícolas.

Las clases de capacidad de uso se encuentran agrupadas en tierras aptas para cultivos labrados y otros usos (Clase I a IV) y tierras de uso limitado – generalmente inaptos para labranzas (Clase V a VIII). Los suelos del área pertenecen a la Clase VI.

Ha quedado la impronta de ingresiones marinas cuaternarias, las cuales depositaron materiales arcillosos y salinos que en gran parte se hallan en superficie.

En las partes altas, con mejor drenaje, formadas por sedimento limo-arenoso sobre arcilla se ha desarrollado un horizonte superficial "A" con propiedades que suelen alcanzar a cumplir con las condiciones de epipedón mólico (característicos de los Molisoles), aunque esto solo ocurre en sitios excepcionales. Debajo del horizonte oscuro superficial se distingue uno de color pardo-rojizo, no afectado por hidroformismo, lo que ha permitido la oxidación de hierro y la referida coloración. Subyacen arcillas de color gris verdoso oscuro (gley) producido en parte por la naturaleza del material originario y además por condiciones altamente reductoras. En los albardones arenosos los suelos no tienen horizontes diferenciados y solo presentan un escaso enriquecimiento en materia orgánica superficial.

Usos del suelo.

De acuerdo al Código de Planeamiento Urbano, el territorio del Partido de Tigre se divide en tres áreas:

1. Area Urbana.
2. Area Complementaria.
3. Area Rural.

Estas se subdividen en 7 zonas:

- “A” Rurales.
- “B” Esparcimiento y ocupamiento.
- “C” Residenciales.
- “I” Industriales.
- “C” Comerciales.
- “T” Centrales o residenciales de edificación en torre.”
- “UE” Usos específicos.

Los usos del suelo permitidos son los que resultan de las Planillas de Resumen de Normas Específicas para cada distrito según la zona. Los rubros, actividades o usos que no estuvieran explícitamente consignados serán encuadrados por los organismos técnicos del Departamento Ejecutivo resolviendo por analogía con los existentes y consignados.

Dentro del uso comercial, la zona permite:

Comercios:

- Mayoristas.
- Depósitos en general.
- Depósitos de combustibles.
- .
- Depósitos de productos perecederos.
- Minoristas de todo tipo

Servicios:

- Del automotor chapa y pintura.
- Electricidad.
- Gomería. Lavadero. Mecánica.
- Tapicería.
- Mantenimiento y reparación.
- Fraccionamiento y envase.
- Lavaderos industriales.
- Máquinas industriales.

Varios:

- Tornería y herrería.
- Calderería.
- Chapa y pintura.
- Artesanal.

Fábricas:

- Productos alimenticios.
- Madera y muebles.
- Dulces. Mermeladas y jaleas.
- Carpintería y ebanistería.
- Embutidos y fiambres.
- Productos plásticos.
- Conservación de productos alimenticios.
- ESTRUCCIÓN.
- Textiles.
- Inyección y soplado.
- Alfombras y tapices.
- Bulones y tornillos.
- Vestido y calzado.
- Aserradero.
- Cesterías y cepillos.
- Machimbres.
- Pinceles y escobas.
- Talleres para preparar la madera.
- Astilleros.

Infraestructura de servicios.

En el partido de Tigre, de las 64275 viviendas particulares ocupadas, según el Censo Nacional de Población y Vivienda '91; el 34% se abastece con agua de la red pública; el 7,5% tiene servicio de cloacas y el 98,7% cuenta con electricidad.

Del total de población en hogares particulares (256349 habitantes) el 87,7% tiene inodoro o retrete con descarga de agua y el 10,5% no lo posee.

En cuanto a la provisión de agua; el 67,88% tienen cañería dentro de la vivienda; el 24,9% tiene cañería fuera de la vivienda pero en el terreno y el 4,7% la posee fuera del terreno.

Datos reflejan una evolución en la cobertura del partido ya que para el Ente Tripartito de Servicios y Obras Sanitarias (ETOSS) la población servida al 30 de Abril de 1996 por agua ascendía a 107.740 habitantes, representado un 42,1% del partido y la provista de cloacas a 21.580 habitantes lo cual representaría un 8,10% del partido. Es de destacar que en la planta urbana el 90% de los habitantes están provistos de agua, cloaca, alumbrado público, gas natural y pavimentación (Tabla XXXI).

Tabla XXXV. Datos del partido de Tigre (Fuente: Información de la Municipalidad de Tigre del Departamento de Redes Urbanas).

	Luz	Agua de red	Gas Natural	Cloacas	Pavimentado
Tigre	97,10%	64,10%	69,80%	13,71%	52%

Educación.

Según el Censo Nacional de docentes y Establecimientos Educativos del '94, el Partido de Tigre cuenta con un total de 173 edificios escolares, de los cuales 96 son estatales y 77 privados.

Considerando que el total de la población entre 10 y más años es de 203407 habitantes, en el Partido de Tigre hay 5556 analfabetos, 197594 alfabetos. La tasa de analfabetismo es de 2,7%, superando al de la Provincia de Buenos Aires que es de 2,4%. La asistencia escolar se concentra en un 67,9% en establecimientos públicos y un 32,1% en privados.

Del total de la población mayor de 3 años, el 29,5% asistía a un establecimiento educacional en el momento del Censo, con un 76,3% a establecimientos públicos y un 23,7% a establecimientos privados.

Salud.

El Partido de Tigre cuenta con un Hospital Comunal Municipal en la ciudad de Tigre, 11 centros de salud, 3 unidades sanitarias, 5 clínicas privadas y obra social.

Con respecto a la relación de los establecimientos asistenciales con internación y camas disponibles, se puede ver que en Tigre hay 7 establecimientos con internación que cuentan con 437 camas disponibles.

En cuanto a la proporción de población por tipo de cobertura de salud hay que señalar que el 43,9% no posee ningún tipo de cobertura y 56,1% tienen algún tipo de cobertura social. El índice de hogares y población de Necesidades Básicas Insatisfechas ha disminuido entre el periodo 1980 y 1991, ya que en cuanto a los hogares fue de 28,3% en 1980 a 23% en 1991; y la población con NBI mermó de 33,3% para 1980 a 22,8% en 1991. Si bien el indicador en el partido ha disminuido, los valores son mayores al compararlos con el total de la provincia.

Tabla XXXVI. Comparado de índice NBI (Fuente: Tabulados inéditos del INDEC según Censo '91)

	Hogares NBI	Población NBI
Total Tigre	23%	22,8
Prov. Bs As	17%	19%

Actividades Económicas.

Es importante tener en cuenta que de acuerdo a las últimas cifras del Censo nacional Económico '94, las industrias radicadas en los 21 municipios que conforman el Gran Buenos Aires generan el 31% de la producción industrial de la Argentina, contribuyen al 31% de empleo y concentran el 25% de los establecimientos industriales del país. Dentro de ese contexto, el Partido de Tigre ocupa el quinto lugar en cuanto al número de industrias instaladas.

La radicación industrial llevada a cabo en la Provincia de Buenos Aires en los últimos años ha elegido principalmente el Partido de Tigre para la instalación de sus establecimientos, debido a la privilegiada ubicación del municipio respecto a la Capital Federal, lo que implica la proximidad a las vías de acceso al MERCOSUR y al cercano acceso a los puertos de Buenos Aires y Campana.

Entre los principales sectores industriales debe destacarse que el Partido de Tigre concentra los siguientes rubros y porcentajes en relación al resto del conurbano:

Industria frigorífica	18%
Industria láctea	20%
Industria panificadora	33%
Galletitas y fideos secos	45%
Industria textil	12%
Madera terciada y aglomerada	45%
Industria metalúrgica	23%
Industria plástica	13%
Automotriz y autopartes	36%
Colchones	25%
Gas comprimido	23%
Carocerías	20%

Para fomentar su perfil industrial, el Partido de Tigre ha adherido a la Ley Provincial N° 10547 de promoción industrial, beneficiando a las industrias instaladas mediante este régimen con exenciones fiscales.

También el municipio ha ajustado el desarrollo industrial con la paralela protección del medio ambiente mediante el dictado de normativa municipal específica que regula la prohibición de instalación de industrias potencialmente peligrosas (Ordenanza N° 771/88), la habilitación municipal automática de inmuebles para su uso industrial (decreto N° 954/95), la coordinación de rubros y zonas según tipo industrial exclusivo y mixto (Decreto N° 1075/96) y contralor ambiental de depósitos de combustibles líquidos (Decreto N° 1209/96).

Descripción del proyecto

Introducción y Objeto

El proyecto se basa en el establecimiento de un humedal subsuperficial horizontal en la ribera del arroyo El Claro, sito en calle O'Higgins y el arroyo, Benavidez, en el Partido de Tigre. El mismo constará de 5 unidades de tratamiento y una oficina con laboratorio, ocupando un total de 100 hectáreas de superficie.

Las etapas del proyecto de remediación del arroyo El Claro se proponen las siguientes etapas:

- Estudios para establecer la línea de base ambiental del lugar.
- La generación de ideas y modelización del proyecto.
- La construcción de infraestructura y propuestas a proveedores.
- La contratación de personal calificado y la operación de la planta.
- Monitoreos semestrales de calidad de agua subterránea (mediante pozos de monitoreo), calidad de aire y sondeos de suelo.
- El cierre de la planta.
- Informe de cierre y estudio de fin de proyecto, comparativo de la línea de base.

Los estudios de línea de base serán de calidad de aire, calidad de agua superficial y subterránea, calidad de suelo y ruido ambiental. La línea de base es la situación ambiental donde se montará el proyecto y su contaminación o pureza no serán causa del mismo.

La obra consistirá en la construcción de una planta de tratamiento con una entrada del efluente, un pretratamiento con sistema de rejillas, un tratamiento primario con un ecualizador y desarenador / desengrasador, y un tratamiento secundario con un humedal artificial con plantas y características para remover los contaminantes del sistema del sistema y un tratamiento terciario para acondicionar el efluente a los parámetros de vuelco de todas las especies a tratar. Está prevista también la remoción asociada de otros contaminantes, dado que el sistema seleccionado presenta un amplio espectro de compuestos que puede remover, desde materia orgánica hasta nitratos, pasando por otros metales pesados. Será diseñado para soportar un caudal horario que pueda diferir durante los días y durante las horas del día, cuidando de siempre alimentar a las plantas de agua del arroyo.

El proyecto tendrá un período de relevamiento y mediciones preliminares para la línea de base, 6 meses para la construcción del humedal y las otras unidades de tratamiento y la infraestructura periférica, un tiempo operativo de 30 años. Durante la operación se deberá

realizar muestras de agua y suelo para monitorear la calidad de la estructura, si hubo roturas con escape de líquido no tratado, realizándose un seguimiento de cada analito.

El cierre tendrá un período de 4 meses y se elaborará un informe que releve el mismo y luego de cerrada la planta, con mediciones detallando el impacto que tuvo el humedal en la calidad de agua y suelo, según la línea de base y su seguimiento.

El lugar de emplazamiento posee electricidad y red de agua, aunque no cuenta con gas ni cloaca. Se encuentra a 200 m de la población, camino de calle O'Higgins

Línea de base

Se contratarán geólogos matriculados en OPDS para realizar estudios de suelos tales como el Estudio de caracterización de sitio contaminado Fase I y Fase II, estudio hidrogeológico y construcción de freáticos. Asimismo, se deberán tomar muestras de agua y suelo y enviar a laboratorio inscripto en RELADA para comprobar la contaminación previa del suelo.

Etapas de construcción

Excavación y retiro de tierras

1. Mediante retro excavadora se hará una canaleta a nivel del arroyo con pendiente 1% perpendicular al mismo con dirección Este.
2. Se trazará el espacio de los humedales y luego, se excavará a 2 m de distancia y se colocará la tierra a 1 m de los bordes, de manera de hacer un de 0,6 m a 1 m de altura. Para los humedales siguientes, se excavará dentro del humedal y se volcará en los bordes, de manera que los segundos estén a una altura menor que los primeros.
3. Se procederá a pisar el suelo para fijarlo y evitar movimientos que pudieran comprometer la geomembrana u otros componentes.
4. La tierra remanente será puesta en pilones entre la planta y la población, de manera que sirvan de barrera física ante potenciales olores o vectores.

Armado de presas con sistema levadizo

1. Se realizará un sistema de puertas levadizas que funcionen como presa. Se dispondrá una trapezoidal de forma que complemente el cauce del arroyo, de manera de impedir el paso del agua por ese lugar. De la misma forma, se realizará otra al ingreso de la planta de tratamiento, que reemplazaría una pared del “entubado” del arroyo e impedirá el ingreso del agua hacia la planta. Ambas estarán unidas a un sistema levadizo mediante cadenas, con un proceso que impida que estén las dos cerradas.

2. El proceso deberá prever que para cambiar la dirección del flujo (del arroyo a la planta o de la planta al arroyo) primero se deberá abrir la compuerta cerrada, de manera que estén las dos compuertas abiertas. Luego, se cerrará la compuerta que se quiere frenar el flujo, pasando éste por el otro lado. Esto disminuye el efecto ariete de la compuerta que cierra ya que cuando las compuertas están abiertas, el caudal se reparte entre ambas y hay menos flujo que se opone al cierre.
1. El armado de las presas será realizado por ingeniero civil con especialización hidráulica en un lapso no mayor a 45 días. Es posible que el clima afecte la duración, se tendrá en cuenta esta situación ante demoras.

Rejas

1. Se realizará una canaleta de 3 m de ancho x 10 m de largo de hormigón armado de pendiente 1%, donde irán las rejas.
2. Se tendrá en cuenta el *bypass* inicial que protege a las rejas de aumentos desmedidos de caudal. Éste consiste en un vano cuadrado de altura 0,9 m que dará al otro lado de la presa del arroyo y servirá de alivio al sistema.
3. El diseño de las rejas se describe en planos, en Anexo.

Ecualizador

1. Luego de las rejas se realizará un pozo por el que tomará hacia el ecualizador, mediante la Bomba Periférica Fluvial 5 Hp Elevadora De Agua modelo Nero.
2. El diseño del ecualizador se describe en planos, en Anexo.
3. Del ecualizador saldrá el efluente por dos lugares, uno encima del otro. Se controlará manualmente por sistema de bridas.

Plantas

1. Se sembrarán en hidroponía retoños de las especies *L. perenne* e *I. sultanii*, en cantidad suficiente para la totalidad del humedal en cuestión.
2. Durante las semanas se debe chequear la evolución de las raíces, cuidando el enraizado de las mismas y el largo de las mismas.
3. A la semana 3 se deben retirar las mismas ya que continuarán su crecimiento en el sitio del humedal.

Humedal

1. Después de pisada la tierra, se hará una revisión ocular en busca de puntas o mesetas que pudieran comprometer la geomembrana o la circulación del fluido dentro del compartimento. Si hubiera casos, se decidirá la solución respectiva acorde al problema.
2. Se colocará la geomembrana de manera que no queden huecos ni desdoblamientos que pudieran ocasionar pérdidas.
3. Se montarán los dispositivos de entrada y salida del humedal. Los mismos constan de una red de caños de pvc con ranuras en el eje horizontal de manera del agua salga homogénea en volumen, sin generar preferencia por espacios
4. Se rellenarán los humedales con 15 cm de arena y luego con 40 cm de grava mediana.
5. Se colocarán las plantas y se regarán, verificando el estado de las mismas.

Cámara de aforo y toma de muestra

1. Al final de la zona del humedal se construirá una cámara de toma de muestra y medición de caudal, cuidando las dimensiones según normativa.
2. Luego de la cámara, se colocará cañería cuyo fin sea el arroyo.
3. La punta de la cañería deberá estirarse para evitar posible erosión del conducto

Lavado y Lixiviado

Se construirá un tanque con pendiente y un sistema de cañería que permita recuperar el lixiviado y agua de lavado, llevando mediante bridas el lixiviado hacia un tanque secundario, y el agua de lavado hacia otro.

Se harán exámenes al agua de lavado para verificar si es factible el ingreso de ésta al ecualizador, para su posterior paso por el humedal (y recomposición del agua lavada, la cual se supone tiene concentración mínima de contaminantes)

Se harán exámenes de la tierra durante el proceso de lixiviación, lavado intermedio, para constatar la ausencia de Pb, Cr, Cu, PT y DBO y otros contaminantes para disponer la tierra como residuo industrial o reutilizarla en el sistema del humedal.

El lixiviado se llevará a tratamiento para recuperación de los metales solubilizados.

Operación

La operación del humedal tendrá un tiempo estimado de 20 años continuos. El personal indicado al inicio de la misma será de 4 operarios, 1 administrativo contable y un ingeniero

ambiental, contratando personal tercerizado para eventos como el vaciado del humedal saturado y llenado del lixiviado, entre otros.

A continuación se enumeran las actividades por sector

Rejas.

La diaria en la planta de tratamiento será, en primer lugar, relevar las propiedades organolépticas del efluente ingresante y retirar las ramas y otros que se encuentren capturados en las rejas. Las mismas, por el caudal ingresante, serán automáticas, evitándose acercamientos riesgosos al efluente.

Esta tarea será llevada a cabo por un operario, pudiendo solicitarse dos en casos que lo requieran. El personal deberá utilizar equipamiento especializado y elementos de protección personal tales como guantes, casco y gafas protectoras. Se ubicarán en un lugar donde no sea factible las caídas al efluente y portarán una guía atada a un arnés siempre que estén trabajando cerca del arroyo.

Humedal

La operación diaria en el humedal constará en la revisión visual de todo el humedal en sí y del flujo de agua, si hay bloqueos, el efecto ‘clogging’ que habla del taponamiento del humedal, producto de sedimentos y la evolución de la rizósfera. Ante taponamientos visuales, se verá la forma de trabajar esa zona en particular sin realizar movimientos forzosos ni comprometer al personal.

Estas tareas serán llevadas a cabo por 3 operarios. Los mismos deberán portar ropa de trabajo con guantes, casco y gafas. Además, deberán ingresar al humedal con bastones telescópicos para mejorar el equilibrio y evitar caídas.

Cada semana, se deberán tomar muestras al final de cada sector del humedal para corroborar la remediación

Lixiviado y lavado

Para esta tarea, serán tratadas tanto la grava, la arena y las plantas. Una vez terminado, se analizará si la grava y arena pueden ser reutilizadas para el siguiente humedal. El resto será tratado como residuo peligroso y embolsado en bolsas de alta densidad amarillas con su respectivo rótulo, según se ve en la figura 23.

Residuo Peligroso

Serie o Rótulo	_____	N° 000001
Nombre Residuo	_____	
Proceso o Centro Generador	_____	
Código Centro Generador	_____	
Fecha Generación de Residuo	__/__/__	
Fecha de Almacenamiento ADT	__/__/__	

Figura 23. Rótulo de las bolsas de los residuos peligrosos.

El líquido será extraído por gravedad en primera instancia, y luego se realizará un lavado de la tierra para su posterior análisis de cantidad de metales (análisis de laboratorio inscripto en RELADA).

Esta tarea será realizada mayormente por personal tercerizado, comandado por operarios y el ingeniero ambiental. El personal deberá utilizar ropa de trabajo especializada para la manipulación de productos ácidos y metales pesados, guantes, casco y gafas. Si bien será al aire libre, si fuese necesario se gestionarán máscaras con filtros para evitar la inhalación de gases.

Cierre de planta

El cierre de planta deberá realizarse en 5 meses utilizando los empleados actuales de planta más 10 tercerizados.

Para el cierre de planta se tratará de devolver las condiciones iniciales al suelo y al agua. Se desmontarán las estructuras de material y se abrirá el suelo pisado que estaba debajo para aumentar la porosidad en el mismo y fomentar su oxigenación.

Quedará la presa del humedal cerrada, se rellenará con suelo la canaleta que lleva al humedal y se retirará la compuerta del arroyo.

Los bloques de hormigón como otros residuos áridos serán dispuestos como tales donde la autoridad de aplicación lo requiera. Los residuos sólidos urbanos serán dispuestos en planta de residuos sólidos urbanos y los peligrosos mediante transportista y operador inscripto en OPDS.

Se realizarán tomas de muestra de agua freática, aire y suelo en la periferia y en zonas centrales para constatar el daño que se pudiere haber producido

Identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales

En esta sección se identificarán y valorarán los impactos que se producen sobre el medio ambiente, entendido este como el conjunto de factores físico-naturales, sociales y culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando así su forma, carácter y supervivencia.

Para ello se procederá a la utilización de una matriz de impacto del tipo causa-efecto, en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas se fijarán las acciones impactantes, siendo estas capaces de causar un impacto sobre uno o más factores del medio ambiente y en las filas los factores medioambientales susceptibles a ser impactados; dividida cada intersección en cuatro cuadrantes y en cada uno de ellos se expresan las valorizaciones de los impactos consideradas.

La misma ha sido extraída de la Matriz de Impacto propuesta por Conesa Fernández – Vítora la cual deriva de la matriz propuesta por Leopold, desarrollada en los años 70, esta última cuenta con un listado de acciones que pueden causar impactos ambientales. Sobre estos se escogieron los más representativos de la actividad a desarrollar obteniéndose de este modo las distintas matrices, expuestas a continuación.

La lectura final de la misma nos permitirá identificar, prevenir y comunicar los efectos que las actividades que la empresa desarrolla causan para posteriormente obtener una valoración de los mismos.

Sobre el medio ambiente en cuestión, evaluamos los efectos sobre los principales factores ambientales en su entorno estando éste constituido por los elementos y por procesos interrelacionados, los cuales pertenecen a un determinado sistema, Medio Físico y Medio Socioeconómico y dentro de estos subsistemas siendo para el primero el medio inerte, el medio perceptual y el medio biótico y para el segundo medio sociocultural y medio económico. A su vez a cada uno de estos subsistemas le pertenecen una serie de componentes ambientales susceptibles a recibir impactos, entendidos como los elementos, las cualidades y los procesos del entorno que puedan ser afectados por el desarrollo de las actividades de la empresa.

La identificación de los factores ambientales y las acciones impactantes que fueron elegidos se realizó en función de la representatividad del entorno, su relevancia en cuanto a la información significativa en el, su fácil identificación y cuantificación, y su interés.

Antes de desarrollar la evaluación, consideramos oportuno definir el concepto de "impacto ambiental", entendiéndose por el mismo cualquier acción que origina o produce una alteración, modificación o cambio sobre los factores mencionados anteriormente, en la zona en donde se ubica el objeto a evaluar.

Consideramos oportuno definir el concepto de "impacto ambiental sobre el medio socioeconómico", entendiéndose por el mismo cualquier acción que origina o produce una alteración, modificación o cambio sobre los factores demográficos, económicos, sociales, culturales y de infraestructura, en la zona donde se ubica el objeto a evaluar. Para realizar dicha auditoría, construimos una matriz compuesta por un conjunto de acciones que podrían afectar sobre los mencionados factores.

Existencia de impactos ambientales

En la primera parte de este análisis sobre los posibles impactos ambientales del sistema de remediación del Arroyo El Claro, se estudiará si el emprendimiento produce o no impactos.

Se evaluarán los impactos producidos durante la fase de operación y la posibilidad de acciones contingentes.

Clasificación de los impactos según su naturaleza. Positivos - Negativos

En esta sección se identificarán los impactos según su naturaleza, dividiéndolos en positivos, negativos y en los que no impactan.

Se considerarán impactos positivos a los que no generan acciones beneficiosas sobre los distintos factores impactados.

Se clasifican como impactos negativos a los que producen algún daño, ya sea en el ambiente, cuando analizamos el medio físico, como en la sociedad, al estudiar el medio socioeconómico.

Se expresan en color ROJO los impactos negativos, en color VERDE los impactos positivos.

	Impactos Negativos
	Impactos Positivos

3.1.2 Valoración absoluta o relativa

En esta segunda parte del análisis de los impactos se procede a la valoración de los mismos. Una vez más empezaremos por la utilización de matrices, pero esta vez cada uno de las acciones impactadas, ya sean positiva como negativa, se las calificará con cuatro parámetros.

Los parámetros analizaran si el impacto es directo o no, reversible o no, su intensidad y extensión.

Directos o Indirectos

Como impactos directos entendemos a aquellos en los que las acciones impactantes generan por si mismas un efecto sobre los factores impactados. Utilizaremos una "D" en los casos que el impacto sea directo y una "I" en los casos que el impacto sea indirecto.

Reversibles e Irreversibles

Se considerarán impactos reversibles a aquellos que permitan retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, una vez que esta deja de actuar sobre el medio. Se los identificará con una "R". Los impactos irreversibles serán entonces aquellos que sus efectos sobre el ambiente no otorguen la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, una vez que ha cesado la acción.

Otros atributos. Intensidad – Extensión

Por intensidad entendemos el grado de incidencia de la acción sobre un factor determinado. Se identificarán cuatro tipos de intensidad, siendo la intensidad baja (1) el valor con el que se expresa una afección mínima; hasta llegar a la intensidad muy alta (4), que expresa un grado de destrucción máximo. Los valores comprendidos entre estos dos términos expresan situaciones intermedias. Se los identificarán con la letra "I" y el valor asignado.

La extensión se refiere al área de influencia del impacto con relación a la situación geográfica de la empresa. Si la acción produce un efecto muy localizado se lo considerará como un impacto puntual (1). Pero si el efecto no se puede ubicar con precisión y tiene una gran influencia sobre el área circundante, el impacto será total (4). Las situaciones intermedias se clasificarán en parcial (2) y extenso (3). Se los identificarán con la letra "E" y el valor asignado.

D/I	R/I
I 1/4	E 1/4

Análisis puntual de los impactos

En esta sección se identificarán y valorarán los probables impactos que se producen sobre el medio ambiente que pueda ocasionar la actividad desarrollada por la planta de tratamiento. Para ello, se elaboró una matriz compuesta por un conjunto de acciones que podrían afectar sobre determinados factores del medio socioeconómicos, como ser demográficos, económicos, sociales culturales y de infraestructura y factores del medio físico, como ser el aire, suelo, agua superficial y subterránea.

El análisis de las causantes que modifican el sistema primitivo y las acciones contingentes necesarias para paliarlos es lo que se pasa a describir. Esta interacción de elementos es analizada tanto desde la fase operativa como desde la de contingencia. Una vez identificada la acción impactante y el factor impactado, se procederá a la valoración del mismo.

Análisis puntual de los Impactos ambientales.

Factores impactantes	Factores impactados	Causas
Emanación de olores	Núcleo de población	La emanación de olores disminuye la calidad de vida y puede provocar disgustos en los vecinos para con la planta y con el medio. Puede provocar el cambio de costumbres por no provocarles disfrute a causa de la planta. El impacto es directo y reversible ya que sin la emanación el efecto termina, tiene intensidad media y extensión media
	Demografía	
	Estilo de vida	
	Abundancia de especies	Los olores pueden atraer o repeler especies, y ello puede impactar en la red ecosistémica del lugar. El impacto es directo y reversible, de intensidad baja y extensión baja
	Diversidad de especies	
Emisiones gaseosas	Calidad del aire	Las emisiones gaseosas son aquellas emisiones generadas por las plantas y en la instancia de lavado y lixiviado. El impacto es directo y reversible, debido a las corrientes de los vientos, provocando la dispersión de los contaminantes. La intensidad es media y la extensión es baja.
Incendio	Calidad de aire	Un potencial caso de incendio de la planta de tratamiento, mas que nada las estructuras administrativas, modificaría la calidad de aire por variación de su composición y generación de partículas sólidas. Asimismo, la estructura del suelo se verá modificada negativamente por este episodio. El impacto sería directo, de intensidad baja y extensión baja.
	Calidad del suelo	
	Núcleo de población	Se entiende por el mismo al sector comprendido por un radio de 200 metros a la redonda de la planta estudiada, incluyendo los bienes y la población residente y transitoria existente en el mencionado radio. El impacto sería directo ya que el fuego podría ocasionar daños de diversa cuantía sobre los bienes lindantes e inconvenientes de diferente índole a las personas residentes o transeúntes del lugar. Sería reversible porque una vez combatido el incendio se

		<p>podría retornar a la situación anterior al mismo. Tendría una intensidad media debido a que el impacto generaría una afección de importancia moderada de acuerdo a la cantidad de materias primas y productos almacenados.</p>
Radicación de la planta	Alteración del flujo de aguas subterráneas	<p>La planta necesitará el aplastamiento y aplanamiento del suelo, factor que puede comprometer las características inherentes del suelo y sus componentes. La napa freática podría llegar a verse comprometida con la construcción y la operación, ya que el peso de las estructuras puede comprimir el paso de fluido subterráneo, obligando a tomar otras direcciones</p>
	Diversidad de especies	<p>La planta de tratamiento por humedales afectará negativamente la matriz ecosistémica del lugar, ya que atraerá ciertas especies, mejorando la calidad de unas y trayendo una desventaja a otras que sean perjudicadas por ellos. El impacto es directo y reversible, de intensidad baja y extensión baja.</p>
Modificación del terreno	Calidad del suelo	<p>La ejecución de la planta y el agregado de infraestructura lleva consigo la modificación de las características del suelo. La calidad del mismo se verá afectado por este punto, así tanto como la porosidad, lo que afecta la fertilidad y la permeabilidad del mismo.</p>
	Pérdida de fertilidad	
	Permeabilidad del suelo	
Consumo de agua	Nivel hidraulico de agua superficial	<p>Entiendase que el humedal puede funcionar como un amortiguador del volumen de agua que pasa por el arroyo. Lluvias desmesuradas pueden ocasionar inundaciones, que pueden ser evitadas con estructuras como estas ya que se puede trabajar aumentando el flujo de agua, disminuyendo el nivel hidraulico del arroyo y mejorando sus características</p>

Derrame de sustancias químicas	Calidad del agua	El derrame de sustancias químicas, sean estas ácidas del lixiviado o el lixiviado en sí, puede ocasionar la contaminación de napas freáticas y aguas superficiales, factores que aumentan el radio de extensión del impacto. La intensidad es máxima ya que la gravedad es importante
	Reservas subterráneas	
	Abundancia de especies	Las sustancias químicas derramadas pueden interferir en la cadena trófica del lugar, matando ciertas especies muy susceptibles a la contaminación o bioacumulando. El impacto es directo e irreversible, de intensidad media a alta y extensión media.
	Diversidad de especies	
Generación de ruidos	Abundancia de especies	Los ruidos pueden espantar a aves y otras especies susceptibles. El impacto es directo y reversible, de intensidad baja y extensión baja.
Atracción de fauna vectora de enfermedades	Abundancia de especies	Los vectores de enfermedades pueden proliferar en un medio húmedo y calmo, como puede ser un humedal. El impacto sería directo y reversible, de intensidad media a alta y extensión baja
	Diversidad de especies	
Fallas en el almacenamiento o proceso	Abundancia de especies	Un desvío en algún procedimiento puede ocasionar un lugar de proliferación de ciertas especies no deseadas, lo cual traería problemas a las ya establecidas y a las personas y operarios de la planta. El impacto es directo y reversible, de intensidad baja y extensión baja
	Diversidad de especies	

Programa de monitoreo ambiental

El programa de monitoreo ambiental tiene como finalidad la evaluación periódica, integrada y permanente de la dinámica de las variables ambientales, tanto a nivel de medio ambiente natural como medio socioeconómico y cultural, con el fin de suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones orientadas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Este plan permitirá la verificación del cumplimiento de las medidas de mitigación propuestas.

Parámetros a monitorear – Frecuencia de las mediciones.

Ambientales.

Ítem	Parámetros a monitorear	Frecuencia	Observaciones
Monitoreo de emisiones gaseosas.	Se realizaran los monitoreos de los conductos de emisiones gaseosas en forma anual y luego	Anual	...
Monitoreo de calidad de aire	respectando lo dispuesto al momento de la otorgación del Permiso de Descarga de Efluentes Gaseosos		
Gestión de residuos especiales.	Control del estado de almacenamiento. Control registro de operaciones.	Permanente	...
Gestión de residuos industriales.	Control del estado de almacenamiento. Control registro de operaciones.	Permanente	...
Freatímetros	Plomo, Cromo, Cobre, Fósforo total, DBO.	Bimensual	
Agua de salida	Plomo, Cromo, Cobre, Fósforo total, DBO.	Trimestral	

Otros estudios.

Ítem	Parámetros a monitorear	Frecuencia	Observaciones
Contaminantes en ambiente de trabajo.	Según Ley 19587 DR 351/79	Anual	...
Medición de ruido.	Ruido interno en distintos puestos de trabajo.	Anual	...
Medición de ruido molesto al vecindario	Según Norma IRAM 4062	...	
Medición de iluminación.	Iluminación en distintos puestos de trabajo.	Anual	...
Medición de jabalinas y continuidad.	Verificar el estado de la puesta a tierra y verificar la continuidad de las máquinas.	Anual	...
Potabilidad de agua de consumo.	Análisis bacteriológico.	Semestral	...
	Análisis físico – químico.	Anual	...

Plan de gestión ambiental

Objetivos y metas ambientales.

A.- generales

1. Cumplir con la legislación medioambiental vigente.
2. Incorporar, siempre que se pueda, las tendencias y/o sugerencias medioambientales internacionales, surgidas en las diferentes convenciones y congresos, a las políticas y objetivos del emprendimiento.

B.- medio ambiente

1. Realizar y mantener actualizado un sistema de gestión ambiental.
2. Capacitar a todo el personal sobre el tema y su tarea específica en lo que respecta a gestión ambiental.
3. Llevar actualizado y controlado el sistema de emisión, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos.
4. Disminuir la emisión y generación de todo tipo de residuos.
5. Realizar y mantener actualizado un plan de actuación ante emergencias ambientales.
6. Todo producto que ingresa a la empresa debe tener su correspondiente hoja de seguridad y medio ambiente y deberá estar claramente identificado. No se podrá incorporar ningún producto nuevo hasta tanto no haya sido autorizado por el responsable de medio ambiente.
7. Se tiene presente que la responsabilidad ambiental abarca todo el ciclo de vida del producto.
8. Se propondrá el reciclado y reutilización de los subproductos y desechos. Se deberá implementar un control de los residuos internos y externos.
9. Se incorporarán tecnologías innovadoras para sustituir otras tecnologías más contaminantes.
10. Se deberá prevenir la contaminación, o sea, evitar que se genere un contaminante, residuo o subproducto.
11. Se mejorará la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente del agua y de la energía.
12. Se deberá lograr la eliminación o reducción del uso de sustancias y/o actividades perjudiciales para el medio ambiente.
13. No se utilizarán productos que afecten la capa de ozono ni altere los ecosistemas aledaños.
14. Se deberá impulsar la reingeniería de todo producto hacia niveles más aptos desde el punto de vista medioambiental.

15. Se deberá buscar siempre medidas y procedimientos que reduzcan la cantidad de insumos y residuos, mejoren la operación y provean un menor impacto a la sociedad.

Resultados Esperados

Los objetivos propuestos pretenden cumplir con la legislación vigente y la mejora continua operativa y ambiental, evitando en esta forma ser pioneros en materia de sustentabilidad y eficiencia energética. Además, ello redundará en una mejora a la imagen de la empresa tanto del público interno como del externo a nivel provincial, aumentando la confianza en las instituciones públicas y privadas.

Todo ello motivará una gestión más eficiente y productiva de la empresa, que con un claro objetivo de mejora continua en post de alcanzar la excelencia, originará grandes beneficios para la comunidad y para la empresa.

Programa de Monitoreo del Sistema de Gestión Ambiental

Se propone una serie de pasos para mantener vigente al sistema de gestión ambiental en los siguientes puntos:

- Principios generales.
- Objetivos específicos.
- Manejo de productos y materias primas.
- Manejo de planta de productos y materias primas.
- Residuos: Líquidos – Sólidos – Semisólidos – Gaseosos.
- Ahorro energético y aprovechamiento de recursos.
- Asimilación de responsabilidades y organigrama. política de gestión ambiental de la empresa.
- Capacitación propuesta para la gestión ambiental de la empresa.
- Manual y compromiso medioambiental de la firma para todo el personal y verificación de su compromiso.

Para ello, se propone un Catálogo de preguntas, en el cual se sienten las bases de la mejora. Esta herramienta deberá ser utilizada una vez al año como mínimo.

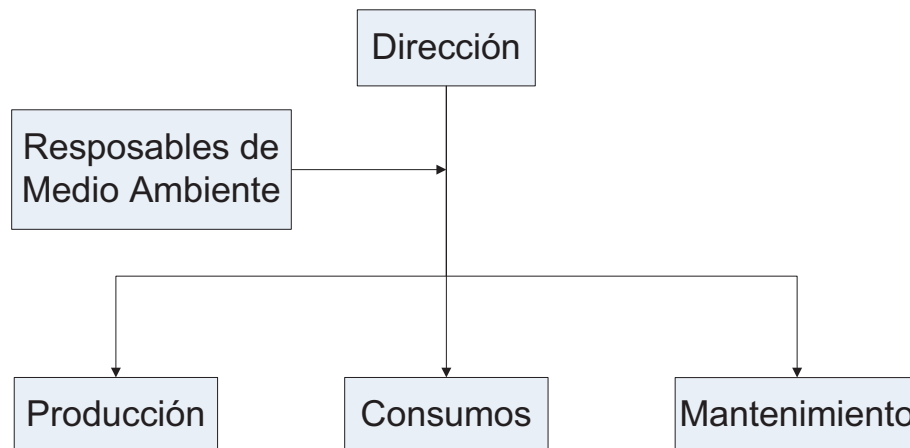
Manual de Gestión Ambiental

- I. Objetivo del presente manual.
- II. Asignación de responsabilidades.
- III. Materias primas, productos auxiliares y/o de limpieza.
- IV. Manejo de residuos líquidos, sólidos, semisólidos y gaseosos.
- V. Cambios de tecnologías, procesos y modificaciones edilicias.
- VI. Ahorro energético, agua, materias primas.

I. Objetivos

El presente manual tiene como objetivo fijar en forma clara y precisa todos los mecanismos, funciones, operaciones y responsabilidades en lo que respecta al cuidado responsable del medio ambiente en concordancia con la política y objetivos en la materia de la compañía.

II. Asignación de responsabilidades



Dirección.

Fijará la política y los objetivos medioambientales de la firma en concordancia con las normas y criterios nacionales e internacionales en la materia.

Responsable de Medio Ambiente.

Asesorará y comunicará todo cambio en la legislación nacional e internacional en medio ambiente y seguridad e higiene industrial dirigiendo la confección del Estudio del Impacto Ambiental y las Auditorías Ambientales. Así como también será el encargado de realizar o supervisar los monitoreos y las mediciones que se necesiten.

Producción.

Controlará la implementación de este manual, y prevendrá los accidentes. Intentará aplicar y proponer nuevos procesos productivos menos contaminantes. Controlará el egreso de todos los residuos sólidos con su correspondiente documentación.

Consumos.

Controlará el ingreso de los insumos, exigiendo a todos los proveedores la correspondiente hoja de seguridad de los diferentes productos, intentando adquirir los productos que tanto en su producción como en los residuos que generen, contaminen en menor medida al medio.

Mantenimiento.

Estará a cargo de controlar el ingreso de los productos de mantenimiento como así su correcto almacenamiento y disposición final de los embalajes y residuos.

III. Materias primas, productos auxiliares y/o de limpieza

Se deberá analizar los posibles efectos sobre el medio ambiente de todas las nuevas materias primas que ingresen a la planta, como así todos los productos auxiliares y/o de limpieza, verificando que no impacten de ninguna manera sobre el medio ambiente.

El encargado de recibir las materias primas verificará el destino de sus embalajes, y analizará la posibilidad de lograr utilizar la menor cantidad de estas como de los productos auxiliares.

IV. Manejo de residuos

En lo que respecta al manejo de los residuos sólidos, el personal debe conocer el lugar de almacenamiento, los distintos recipientes de acuerdo a los diferentes destinos finales, de los residuos. Los residuos no se deben acumular en fábrica, recomendando una recolección semanal, por las empresas autorizadas.

Se deberá tener constancia de disposición final de los aceites lubricantes utilizados en el mantenimiento de las diferentes máquinas.

El responsable de los residuos deberá verificar diariamente el cumplimiento de la disposición de los residuos en sus respectivos tambores o contenedores rotulados. Se encargará de dejar clara constancia de los residuos que son transportados fuera de la fábrica.

Los residuos que son llevados al CEAMSE, deberán constar con una descripción total de los mismos, como así con una adecuada frecuencia de recolección y todos los certificados correspondientes de su vuelco.

Los residuos que sean enviados para su disposición final, ya sea como termodestrucción u otro tratamiento, deberán contar en sus remitos con una detallada descripción de la calidad y la cantidad de lo enviado. Su frecuencia debe ser la adecuada, intentando no almacenarlos en fábrica por un período prolongado. Se deberán verificar la entrega y archivar, las constancias de disposición final o termodestrucción.

El responsable del manejo de los residuos tendrá como responsabilidad buscar alternativas para lograr una mínima cantidad de los mismos, como así, analizar las distintas posibilidades para la recuperación o reciclado de los residuos generados.

V. Cambios de tecnologías, procesos y modificaciones edilicias

Se hará una búsqueda continua hacia nuevas tecnologías que generen un menor impacto al ambiente. Como así optimizar todos los procesos productivos y maquinarias. Se declararán dichos cambios y se analizarán los efectos sobre el ambiente.

El objetivo principal del encargado de este sector deberá buscar y analizar todas las propuestas posibles no sólo para optimizar el funcionamiento de la maquinaria existente, en cuanto a la producción referida, sino también en cuanto a la generación de los residuos, emisiones gaseosas, y sus diversos efluentes.

También se planteará entre sus metas el cambio de la ubicación y disposición de las diferentes máquinas en orden de lograr una mayor optimización de las mismas.

Se estudiará la posibilidad de reemplazar las máquinas existentes por otras máquinas de mayor tecnología. Estas nuevas herramientas deberán no sólo generar una menor cantidad de residuos, como de los diferentes efluentes, sino que también deberá utilizar la menor cantidad de

materias primas y de agua, si la usase, como en menor consumo de energía eléctrica y un menor grado de mantenimiento.

Se verificarán las diferentes reformas edilicias, como así las nuevas construcciones y sus impactos.

VI. Ahorro energético, agua, materias primas

Se intentará realizar un ahorro energético, en todos los aspectos posibles, desde una implementación para bajar los consumos de energía eléctrica, apagando las máquinas que no se estén utilizando, hasta verificar el óptimo funcionamiento de los motores de los vehículos de distribución de los productos terminados.

En lo que respecta al uso de agua se intentará utilizar la menor cantidad posible de la misma, controlando su uso ya sea en la limpieza de la fábrica como en los baños y vestuarios.

Se deberá evaluar el reemplazo de las materias primas que ocasionen un daño directo al ambiente, como así buscar alternativas de materias primas, productos auxiliares y de limpieza que generen menos daños al ambiente, ya sea en su producción como en el destino final de sus residuos. Se intentará a su vez reducir el consumo de las mismas mediante la optimización de todos los procesos.

6.1.6. Capacitación.

- ❖ Desarrollo sustentable.
- ❖ Declaración de Río. Principios.
- ❖ Agenda XXI.
- ❖ Calentamiento global.

Gestión de residuos

- Residuos sólidos.
- Residuos líquidos.
- Residuos gaseosos.
- Residuos semisólidos.
- ❖ Gestión de compras de productos.

- ❖ Cuidado ambiental, “responsabilidad de todos” resaltando la importancia del buen desempeño del rol de cada uno para el logro de un objetivo en común.

Discusión y Conclusiones

Realizando este proyecto integrador me he topado con gran cantidad de información científica, noticias, registros de vecinos y otros tipos de bibliografía que ilustran parte de este tema. La recopilación de todas ellas, junto a su comparación y análisis, dio como resultado conclusiones que resultan contradictorias al pensamiento común y en otros, tal vez, polémicas. Hay algunas que he colocado para discusión, ya que los registros no pueden avalar la certidumbre completa de lo postulado

- I. La principal conclusión, que también es motor de este proyecto, es que la creación de un tratamiento de efluentes en el arroyo El Claro que es posible y mejoraría la calidad de vida de las personas aguas abajo, al mismo tiempo que generaría impacto y daría ejemplo para remediar aguas contaminadas en otros lugares.
- II. Los contaminantes de interés Plomo, Cobre, Cromo y Fósforo total fueron tratados de manera de cumplir la normativa vigente respecto a la calidad de agua de cuerpos superficiales en la Provincia de Buenos Aires.
- III. La DBO figura por encima del parámetro buscado, la actividad Ia de la Res 46 de Acumar, pero es aceptada por el uso II, III y IV, es decir, apta para actividades recreativas con contacto directo, sin contacto directo y actividades pasivas, respectivamente. Estas actividades son las buscadas para el arroyo y, aunque no era el objetivo planteado, se podría decir que cumple con el uso que se le dará al arroyo. Asimismo, la Autoridad del Agua - autoridad de aplicación provincial del Arroyo en cuestión- en su normativa establece que el límite es mayor que lo calculado para el arroyo, por lo que el efluente también sería aceptado por esta normativa.
- IV. Planteado lo planteado en el punto II y III, cabe mencionar, igualmente, que los números no responden siempre a la realidad y los valores pueden variar en su nivel. No obstante, se trató en este proyecto de estimar las peores condiciones para los cálculos, de tal manera que si se midieran niveles mayores de cualquier contaminante a la entrada de la planta (en el desbaste), dependiendo el caso se recomendaría bypassar el efluente debido a que tales cargas podrían conflictuar la operación (mayor cantidad de barro, complicaciones en el humedal, saturación de plantas, etc).
- V. La alternativa con coagulante es mas económica y requiere de menos estructura, con lo que abarata costos de supervisión en humedales y operación en lixiviados. La desventaja es que la operación depende de un componente externo constante.

- VI. El costo de personal es el 90% de los costos operativos. Toda mejora en eficiencia operativa representará, entonces, el mayor beneficio en este esquema (compra de máquinas más veloces para el lixiviado, implementación de cintas transportadoras que lleven la grava hacia la zona de lixiviado, cámaras o indicadores en humedales que produzcan una reducción del monitoreo continuo, etc).
- VII. Discusión: La Planta de tratamiento del Arroyo El Claro tiene un costo importante inicial y luego presenta costos operativos mensuales, pero la remediación del agua mejorará la calidad de vida y salud de las personas -que utilizarán menos los hospitales-, aumentará el costo de los terrenos -lo que sucede en mejores ingresos al municipio- y proveerá más flujo de gente que querría venir a los barrios antes acosados por la contaminación, los olores y los peligros de inundación.
- VIII. El humedal provee un buffer importante de agua ante aumentos rápidos de caudal, lo que hace que pueda mitigar las inundaciones o disminuir, como poco, su impacto aguas abajo.
- IX. Es imperativo remarcar que los y las vecinas deben vivir en un ambiente sano. Si bien hubo movimientos de vecinos para mostrar la contaminación (imágenes y videos mostrando agua negra y residuos flotando son los más registrados) y otros trabajaron también para limpiar el arroyo, hay una constante y potencial fuente de contaminación que no es visible a la sociedad ni es tratada y puede ser mortal, que hace que el flujo de agua móvil estudiado sea más un arma que un punto de recreación. Los municipios no cuentan con personal técnico ni con recursos para tratar este tema, y el mismo se diluye entre municipalidades dado que la contaminación se genera en una que no la detecta (ya sea porque no presenta personal o porque el generador conoce como “burlar” la inspección) y perdura en las que están aguas abajo ya que no pueden, no saben y/o no tratan de contenerla.
- X. La remediación constante del arroyo El Claro no es *necesariamente* necesaria. Esto es decir, diciendo algo trivial, no habría razón para remediar un efluente que no estuviera contaminado. Con capacitación, inspección, redes de monitoreo en vivo y personal idóneo se podría lograr ejecutar un plan de sondeo de los contaminadores y, desde allí, proponer un plan de reconversión industrial para llevar el vuelco hasta concentraciones permitidas (y multar a los infractores, ya que las enfermedades, los malos olores y el decrecimiento general de la calidad de vida de los vecinos aguas abajo debe ser restituido). No es propio de este proyecto analizar variables que salen del alcance del mismo, aunque se deja abierta la propuesta para futuros proyectos.

- XI. Los sistemas integrados dentro de la planta de remediación (el canal desviador, el sistema de rejas como desbaste, el ecualizador y desarenador como proceso primario y el humedal como secundario) son todos necesarios para satisfacer los requerimientos operativos. Una falta o falla de cualquiera de estos provocaría una sobrecarga en los siguientes que podría ocasionar malos funcionamientos y hasta pérdida de las funciones pensadas para cada parte. Un desvío mal realizado podría ocasionar el sobrepaso del agua por sobre la altura del cauce, la planta sin rejas podría ocasionar la rotura de la bomba que va al ecualizador o taponamientos en las cañerías, el sedimentador evita taponamientos en el humedal por efecto de *clogging* y sin humedal no habría remediación posible.
- XII. Es claro que todo el sistema trata otros compuestos como metales pesados (Cd, Hg, etc), materia orgánica flotante, nitratos, bolsas de basura y ramas, entre otras cosas. Es decir que la inversión del humedal sería no solo para lo ya expuesto, sino para una batería de compuestos contaminantes que acompañan el proceso en menor concentración. Se podría agregar una medición de una amplia variedad de compuestos para verificar y poder ajustar la planta de tratamiento a los requerimientos que el arroyo requiere.
- XIII. Buscando información sobre los posibles causales de tanta contaminación me surgió una idea que podría ser impulsora de un mejor trabajo por parte de los Partidos integrantes de la cuenca: cada Partido debería garantizar la calidad de agua dentro de su territorio y la saliente, según los parámetros de la autoridad de cuenca o de la autoridad de aplicación. Esto tiene el corolario que, tomando el principio preventivo y precautorio de la Ley General de ambiente N°25.675, si el agua tuviera algún tipo de desvío, el municipio ‘aguas abajo’ que recibe el efluente podría exigirle el pago de la remediación del agua servida al municipio ‘aguas arriba’. Este sistema rápidamente haría que cada municipio capacite e inspeccione internamente sus empresas y fuentes de contaminación para evitar multas por “ensuciar” el agua que recibe el municipio siguiente. Salvo el primero, cada municipio tendría agua para analizar al inicio (para controlar al partido aguas arriba) y al final (para controlarse a si mismo), y si hubieran diferencias entre ellos tendría que utilizar sistemas de control para detectar los vuelcos no tenidos en cuenta (ilegales). El último municipio, en este caso Tigre, podría rendir cuentas ante ADA o el ComiLu (Comité de cuenca del Río Luján).

Está claro que el arroyo es un bien de todos y es de todos la responsabilidad de cuidarlo. Así también, debería ser de todos la autoridad de controlar que se ejecuten acciones para mitigar los impactos negativos que la sociedad proporciona, desde los basurales a cielo abierto hasta empresas que vuelcan ilegalmente. Es evidente remarcar que el mejor tratamiento que podría tener cualquier cuerpo de agua es *no contaminarlo*.

En lo personal, las conclusiones que he desarrollado a lo largo de este trabajo de tesis final presentan un amplio espectro de facetas. El entender las complicaciones que genera la contaminación en agua en la vida de las personas como de los ecosistemas, el percibir que el arroyo es utilizado como dispensador de residuos más que fuente de recreación y aumento de calidad de vida de las personas, impactando mayormente a las clases bajas de la sociedad y, finalmente, el sentir la impotencia de ver el pensamiento de los vecinos que lo normal es el olor a podrido, el no poder usar las aguas del arroyo y el saber de la contaminación como algo que simplemente va a seguir estando, fue lo que fomentaron mis ganas de exponer este trabajo y de ampliar los conocimientos en el tema.

En este proyecto pude utilizar técnicas de remediación, ver la operación completa y los costos asociados. Entendí que éstos últimos, en humedales, son grandes al inicio, con los costos de tierra e infraestructura, pero se compensa en el tiempo con el poco costo de operación y mantenimiento, sobretodo comparados con el servicio ecosistémico brindado por el humedal.

Como final, vi la dificultad de remediar un arroyo de tal magnitud en la infraestructura urbana dada. La falta de tierra puede dificultar el proyecto o no llevarlo a su concreción, pero aún con todos los aspectos negativos, creo que el humedal es sensiblemente el mejor planteo para este tipo de sistemas.

Bibliografía

ACUMAR (2017). Resolución 46/2017, Anexo III. Recuperado de:

<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/270000-274999/273042/res46.pdf>

ADA (2006). Resolución 42/2006. Recuperado de:

<https://normas.gba.gob.ar/documentos/xk2zYAIA.html>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (s.f.). Resumen de salud pública:

Plomo. Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2005). In situ-Capping. En Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites (págs. 117-132).

Recuperado de: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1000R7F.TXT>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). Resúmenes de salud pública: plomo. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html

Ahluwalia, S.S., Goyal, D. (2007). Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology* 98 (2007) 2243-2257.

Aliyu, M.K., Karim, A.T.A, Chan, C.M, Nda, M. (2020). In Situ Capping Remediation of Contaminated Marine Sediment using Bentonite, Kaolin and Sand to Interrupt the Release of Trace Metals. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 10 (2020) 52-60.

Alsina, G., Borello, J. A. (2004). Diagnóstico ambiental del Partido de Malvinas Argentinas. Universidad Nacional de General Sarmiento. Recuperado de:

<https://ediciones.ungs.edu.ar/wp-content/uploads/2017/05/Malvinas-Argentinas-2004.pdf>

Areco, M.M, Dos Santos Afonso, M. (2010). Copper, zinc, cadmium and lead biosorption by *Gymnogongrus torulosus*. Thermodynamics and kinetics studies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81 (2010) 620–628.

Areco, M.M., Hanela, S., Duran, J., Dos Santos Afonso, M. (2012). Biosorption of Cu(II), Zn(II), Cd(II) and Pb(II) by dead biomasses of green alga *Ulva lactuca* and the development of a sustainable matrix for adsorption implementation. *Journal of Hazardous Materials* 213 (2012) 123– 132.

Argentina Investiga. (15 de mayo de 2017). Un arroyo Claro oscuro. Noticia periodística.

Recuperado de:

http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=un_arroyo_claro_oscuro&id=2972#:~:text=El%20arroyo%20Claro%2C%20de%20unos,el%20Cuzco%20y%20el%20Albuera.

Arikan, E., Fichtinger, J., Ries, J. M. (2014). Impact of transportation lead-time variability on the economic and environmental performance of inventory systems. *International Journal of Production Economics*, 157, 279–288. doi:10.1016/j.ijpe.2013.06.005

Atlas del Conurbano Bonaerense (2011). *Cuenca del Luján*. Recuperado de:

<http://www.atlasconurbano.info/pagina.php?id=8>

Avila Carhuallanqui, G.; Remoción de plomo de las aguas del rio shullcas utilizando sulfato de aluminio con el metodo de prueba de jarras. Recuperado de:

<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1282>

Barberis, S., Piñeiro, A., López, C. M. (2006). Estudio sobre la contaminación ambiental por plomo en niños de la localidad de Abra Pampa. *Acta Toxicol. Argent.* 14 (2006) 2-6.

Barrionuevo, M., Cisneros, G., Drajlín, S., Ferreira, M. L. (2013). Evaluación de la calidad de agua del Arroyo Claro en el barrio La Juanita, Pcia. Buenos Aires, y su impacto en la calidad de vida de los lugareños. Trabajo de grado. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de:

<https://docplayer.es/36850858-Evaluacion-de-la-calidad-de-agua-del-arroyo-claro-en-el-barrio-la-juanita-pcia-buenos-aires-y-su-impacto-en-la-calidad-de-vida-de-los-lugarenos.html>

Barros, M.J., de Iorio, A.R.F, Rendina, A.E. (2007). Rizofiltración de plomo de aguas y efluentes contaminados y concentración en raíces de plantas terrestres. *Rev. Facultad de Agronomía UBA* 27 (2007) 75-82.

Benamar, A., Tian, Y., Portet-Koltalo, F., Ammami, M., Giusti-Petrucciani, N., Song, Y., Boulangé-Lecomte, C. (2019). Enhanced electrokinetic remediation of multi-contaminated dredged sediments and induced effect on their toxicity. *Chemosphere*, 228 (2019) 744 -755.

Boschi, C., Maldonado, H., Ly, M., Guibal, E. (2011). Cd(II) biosorption using *Lessonia kelps*. *Journal of Colloid and Interface Science* 357 (2011) 487-496.

Cai, C., Zhao, M., Yu, Z., Rong, H., Zhang, C. (2019). Utilization of nanomaterials for in-situ remediation of heavy metal(loid) contaminated sediments: A review. *Science of The Total Environment* 662 (2019) 205-217.

Caurant, F., Aubail, A., Lahaye, V., Van Canneyt, O., Rogan, E., López, A., Bustamante, P. (2006). Lead contamination of small cetaceans in European waters–The use of stable isotopes for identifying the sources of lead exposure. *Marine Environmental Research* 62 (2006) 131-148.

CEQG (2003). Canadian Council of Miners of the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines. Recuperado de:

https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/

Chen, W., Qu, Y., Xu, Z., He, F., Chen, Z., Huang, S. (2017). Heavy metal (Cu, Cd, Pb, Cr) washing from river sediment using biosurfactant rhamnolipid. *Environmental Science and Pollution Research* 24 (2017) 16344–16350.

Cheng, H., Hu, Y. (2010). Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: a review. *Environmental pollution* 5 (2010), 1134-1146.

Chojnacka, K., Chojnacki, A., Gorecka, H. (2005). Biosorption of Cr³⁺, Cd²⁺ and Cu²⁺ ions by blue-green algae *Spirulina* sp.: kinetics, equilibrium and the mechanism of the process. *Chemosphere* 59 (2005) 75-84.

Clarín. (27 de julio de 2006). El Arco, un barrio rodeado de countries y contaminación. Noticia periodística. Recuperado de: https://www.clarin.com/ediciones-antiores/arco-barrio-rodeado-countries -contaminacion_0_SyIwm41CKg.html

Cobelo García, A., Prego, R., Nieto, O. (2003). Especiación química del plomo disuelto en ambientes contaminados. Caso de estudio: la Ría de Pontevedra (NO España). *Ciencias marinas* 12 (2003) 377-388.

Colegio de Abogados de San Isidro. (2019). Muestreo para el Diagnóstico de calidad de agua superficial del tramo inferior del Arroyo Claro. Recuperado de:

http://www.casi.com.ar/sites/default/files/Colegio%20de%20Abogado%20de%20San%20Isidro_FINAL_OCT2019_0.pdf

Comisión Nacional del Agua, (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Recuperado de:

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>

Consejo profesional de Arquitectura y Urbanismo. (2017). Costas y cuencas de la Región Metropolitana de Buenos Aires. Observatorio AMBA. Recuperado de:

<http://www.observatorioamba.org/publicaciones/cycrmba/index.html>

Cooper P. (2005). The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates. *Wat. Sci. Tech.*

51 , 91-97.

Dijkstra, J. J., Meeussen, J. C., Comans, R. N. (2004). Leaching of Heavy Metals from Contaminated Soils: An Experimental and Modeling Study. *Environ. Sci. Technol* 21 (2004) 4390-4395.

Disalvo, L., Aab, C., Pereyras, S., Pattín, J., Apezteguía, M., Iannicelli, J. C., Varea, A. (2009). Plumbemia en niños de la ciudad de La Plata, Argentina y su relación con la deficiencia de hierro y los factores de exposición al plomo. *Arch Argent Pediatr* 107 (2009) 300-306.

D'Itri, F. M. (2015). El ciclo de metilmercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. *Tecnología y ciencias del agua* 32, (2015) 75-91.

El Tigre Verde. (29 de marzo de 2010). Tigre – Arroyo Claro – Grave contaminación. Noticia periodística. Recuperado de: <http://eltigreverde.blogspot.com/2010/03/tigre-arroyo-claro-grave-contaminacion.html>

EPA/625/1-88/022, Design Manual. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater treatment. (1988)

Fontalvo, E et al (2011); Uso de humedales construidos de flujo subsuperficial para la remoción de cobre y plomo de aguas de producción de petróleo. Recuperado de:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702011000300006

- Fraiese, A.; Cesaro, A.; Belgiorno, V., Sanromán, M., Pazos, M., Naddeo, V. (2020). Ultrasonic processes for the advanced remediation of contaminated sediments. *Ultrasonics - Sonochemistry* 67 (2020) 105-171.2009
- García Rojas, N., Villanueva Díaz, P., Campos Medina, E., Velázquez Rodríguez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 109-129.
- García S., Corzo Hernandez A. (2008). *Depuración con humedales construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.
- García, S.I., Mercer, R. (2003). Experiencia Latinoamericana. Salud Infantil y Plomo en Argentina. *Salud Pública de México* (2003) 45 252-255.
- Gómez, L. C. (2016). Riesgo hídrico poblacional en relación a las inundaciones y la calidad del agua superficial de la cuenca del Arroyo Claro en el Municipio de Malvinas Argentinas, Buenos Aires. Tesis de grado. Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto del Conurbano. Recuperado de:
http://observatorioconurbano.ungs.edu.ar/Articulos%20y%20documentos/Memoria%20licenciatura_Lorena%20Gomez.pdf
- Gorito, A.M., Ribeiro, A.R, Almeida, C.M.R., Silva, A.M.T. (2017). A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. *Environmental Pollution* 227 (2017), 428-443.
- Grandjean, P., Nielsen, T. (1979). Organolead compounds: Environmental health aspects. *Residue Reviews* 72 (1979) 97–148.
- Guzmán, G. I. (2013). Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus Vulgaris L.* y *Zea Mays L.* *Biotecnología Vegetal* 13 (2013) 145-152.
- Guzmán, M. D. (2016). Tratamiento de suelos contaminados con plomo mediante técnicas electrocinéticas selectivas. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Recuperado de: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/14167>

Herranz, A. A. (2010). Nuevas estrategias electroanalíticas y quimiométricas aplicadas a sistemas de difícil resolución. Complejación de fitoquelatinas con plomo. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Departamento de Química Analítica. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/handle/10803/84152#page=1>

I Agua (2013). Los humedales artificiales: componentes y tipos. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>

IARC. (2006). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Inorganic and Organic Lead Compounds. Recuperado de: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Inorganic-And-Organic-Lead-Compounds-2006>

Infantas, M. M. V. (2005) Intoxicación por plomo (2005). Rev. Soc. Per. Med. Inter. 18 (2005) 22-27.

Instituto del Conurbano (s.f.). Infraestructura de Datos Espaciales. Recuperado de: <http://ideconurbano.ungs.edu.ar/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT (Capítulo 4). Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/459/cap4.html>

Jabeen, H., Kemp, K. C., Chandra, V. (2013). Synthesis of nano zerovalent iron nanoparticles e Graphene composite for the treatment of lead contaminated water. Journal of Environmental Management 130 (2013) 429-435.

Jang, Y.C., Townsend T.G. (2003). Leaching of Lead from Computer Printed Wire Boards and Cathode Ray Tubes by Municipal Solid Waste Landfill Leachates. Environmental Science & Technology 20 (2003) 4778-4784.

Kim, K., Kim, D., Yoo, J., Baek, K. (2011). Electrokinetic extraction of heavy metals from dredged marine sediment. Separation and Purification Technology 79 (2011) 164-169.

Korzun, E.A., Heck, H.H. (1990). Sources and Fates of Lead and Cadmium in Municipal Solid Waste. Journal of the Air 26 (1990) 40-49.

Krishnamurthy, S. (1992). Biomethylation and environmental transport of metals. *Journal of Chemical Education*, 69(5), 347. doi:10.1021/ed069p347

Lenntech Water Treatment Solutions. Recuperado de <https://www.lenntech.es/periodica/tabla-periodica.htm>

Li, D., Tan, X., Wu, X., Pan, C., Xu, P. (2014). Effects of electrolyte characteristics on soil conductivity and current in electrokinetic remediation of lead-contaminated soil. *Separation and Purification Technology* 135 (2014) 14-21.

Lizarazo Salcedo, C. G., González Jiménez, E. E., Arias Portela, C. Y., Guarguati Ariza, J. (2018). Nanomateriales: un acercamiento a lo básico. *Medicina y Seguridad del Trabajo* 14 (2018) 109-118.

Lubrina, E., O'Mill, P., Cossavella, A., Ferreyra, M., Carnicelli, G. (2018). Estudio de concentración de metales en sedimento y agua del río Tercero (Ctalamochita). *Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos* 4 (2018) 1-11.

Márquez, H. L., Dosal, A. T., Macías, E. B., Hernández, C. A., Salinas, R. I., López, J. J., y otros. (2016). Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de plecos (*Pterygoplichthys spp.*) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grijalva y Usumacinta, México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 32 (2016) 657-668.

Márquez-Reyes, J., Valdés-González, A., García-Gómez, C., Rodríguez-Fuentes, H., Gamboa-Delgado, J., Luna-Olvera, H. (2020). Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (*Nasturtium officinale*) en un humedal artificial. *Biocencia* 22 (2020) 171-178.

Martínez, G., Senior, W., Márquez, A. (2006). Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Ciencias marinas* 42 (2006), 239-257.

Matteucci, S. D. (2018). Ecorregión Puna Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos. En *Ecorregión Pampa* (págs. 109-152). Buenos Aires.

- Mavropoulos, A. (2015). El caso trágico de los basurales. International Solid Waste Association. Informe. Recuperado de: <http://ars.org.ar/documentos-download/Informe%20ISWA%20El%20Caso%20tragico%20de%20los%20Basurales.pdf>
- Mendieta Webster, B.C., Taisigüe López, K. (2014). Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: implicaciones para el potencial de fitorremediación. Trabajo de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Laboratorio de Biotecnología. Recuperado de: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf
- Meza, C. L., Sun Kou, M. D., Salvador, B. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. Sociedad Química del Perú.
- Michalak, I., Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A. (2013). State of the Art for the Biosorption Process-a Review. Appl Biochem Biotechnol 170 (2013) 1389-1416.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (s.f.). Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario_experiencias_demostrativas.pdf
- Moreira, V., Lebron, Y., Lange, L., Santos, L. (2019). Simultaneous biosorption of Cd(II), Ni(II) and Pb(II) onto a brown macroalgae *Fucus vesiculosus*: Mono- and multi-component isotherms, kinetics and thermodynamics. Journal of Environmental Management 251 (2019) 109-121.
- Murphy, V., Hughes, H., McLoughlin, P. (2007). Cu(II) binding by dried biomass of red, green and brown macroalgae. Water Research 41 (2007) 731–740.
- NOAA (1999). United States. Screening Quick Reference Tables. National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado de <http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html>
- Núñez, J. H., Corrales, J. R., Campos, J. M., Silva, V. S., Alpizar, H. B. (2011). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Tecnología en Marcha 8 (2011) 27-36.

O'Farrel, I., Lombardo, R., Pinto P. TT., Loez, C. (2002). The assessment of water quality in the Lower Lujan River (Buenos Aires, Argentina): phytoplankton and algal bioassays. *Environmental Pollution* 120 (2002) 207-218.

Oliveira, R. C., Jouannin, C., Guibal, E., Garcia Jr., O. (2011). Samarium(III) and praseodymium(III) biosorption on *Sargassum sp.*: Batch study. *Process Biochemistry* 46 (2011) 736–744.

Organización Mundial de la Salud. (2015). El agua, fuente de vida. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/2005advocguide/es/index1.html#:~:text=La%20Asamblea%20General%20de%20las,2005%2C%20D%C3%ADa%20Mundial%20del%20Aguas

Organización Mundial de la Salud (2019). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

OPDS (2019). Ley 11459. Recuperado de: <http://www.opds.gba.gov.ar/sites/default/files/Ley%2011459.pdf>

Page, A.; Chang, A. (1993). Lead contaminated soils: priorities for remediation? *Hazardous waste and hazardous materials* 10 (1993) 1-2.

Página 12. (27 de julio de 2006). La cuenca del Reconquista, otro libro negro de la contaminación. Noticia periodística. Recuperado de: <https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-70527-2006-07-27.html>

Panigatti, Cecilia et al (2007). Biorremediación de efluentes con cromo (VI) proveniente de plantas metalmecánicas. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2007.1.2.13558>

Paternina, E.B.; Piol, M. N.; Saralegui, A. B.; Caracciolo, N.; Boeykens, S. P. (2017). Remoción de iones metálicos de mezclas binarias usando dolomita. *ESTEC Conference Proceedings* 6 (2017) 310-321.

Peluso, M. (2011). Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes. Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Recuperado de:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18420/Documento_completo_.%20Peluso%20reducida.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X., Qiu, G. (2009). The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 633–640.
doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.061

Perez et al (2 de mayo de 2018); Nota de Conicet: Tecnología natural: plantas y barro para eliminar contaminantes. Recuperado de: <https://www.conicet.gov.ar/tecnologia-natural-plantas-y-barro-para-eliminar-contaminantes/>

Pizzaro H., Alemann M. (2005). Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). *Ecología Austral* 15 (2005) 73-88.

Plaza Cazon, J., Viera, M., Donati, E., Guibal, E. (2011). Biosorption of mercury by *Macrocystis pyrifera* and *Undaria pinnatifida*: Influence of zinc, cadmium and nickel. *Journal of Environmental Sciences* 23 (2011) 1778–1786.

Poma, P.A. (2008) Intoxicación por plomo en humanos. *An. Fac. med.* 69 (2008) 120-126.

Porzionato, N.F. (2016). Evaluación del potencial de acidificación, liberación de metales y posibilidades de remediación de sedimentos del río Reconquista. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de General San Martín. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental. Recueprado de:
<http://www.unsam.edu.ar/institutos/3ia/carreras/2014/pdf/Porzionato%20Natalia%20Poster%202014.pdf>

Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz, M., González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo* 4 (2016) 66-77.

Rojas, M. (27 de marzo de 2013). Recuperado de <https://es.slideshare.net/maty25/toxicocintica-y-toxicodinamia>

Romero, A. A.; Flores, S. L.; Arévalo, W. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. *Industrial data* 13 (2010) 85-90.

Rozas, F.; Castellote, M. (2012). Electrokinetic remediation of dredged sediments polluted with heavy metals with different enhancing electrolytes. *Electrochimica. Acta* 86 (2012) 102-109.

Sanchez Caro, A, Bianchi, J.F (2016). Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires. Tabla 3, p.13

Santos, S., Ungureanu, G., Volf, I., Boaventura, R., Botelho, C. (2018). Macroalgae biomass as sorbent for metal ions. *Biomass as Renewable Raw Material to Obtain Bioproducts of High-Tech Value* (2018) 69-112.

Song, B.; Zeng, G.; Gong, J.; Liang, J.; Xu, P.; Liu, Z.; Zhang, Y.; Zhang, C.; Cheng, M.; Liu, Y.; Ye, S.; Yi, H.; Ren, X. (2017). Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals. *Environment International* 105 (2017) 43–55.

Spinelli, M. (s.f.). *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina*.

Recuperado de

<https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>

Superintendencia de Riesgos del Trabajo, Ministerio de Producción y Trabajo. (2018). Guía de actuación y diagnóstico de enfermedades profesionales: exposición al plomo.

Tavera, B.; Charles, J. (2015). Influencia de la acidez en la remoción de plomo (Pb²⁺) utilizando dolomita como adsorbente. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Tong, S., Von Schirnding, Y. E., Prapamontol, T. (2000). Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bull World Health Organ.* 78 (2000) 1068-1077.

Tufo, A. E., Graziano, M., Almada, P. S., Curuchet, G., Lombardo, R., Afonso, M. d. (2019). Niveles de metales en aguas y sedimentos superficiales de la cuenca inferior del río Paraná. *IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental* (2019).

Vareda, J. P., Valente, A. J., Durães, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. *Journal of Environmental Management* 1 (2019) 101-118.

Ventimiglia, F. D. (2013). Alteraciones bioquímicas, hematológicas y de distribución y acumulación de plomo en un modelo animal y en humanos. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.

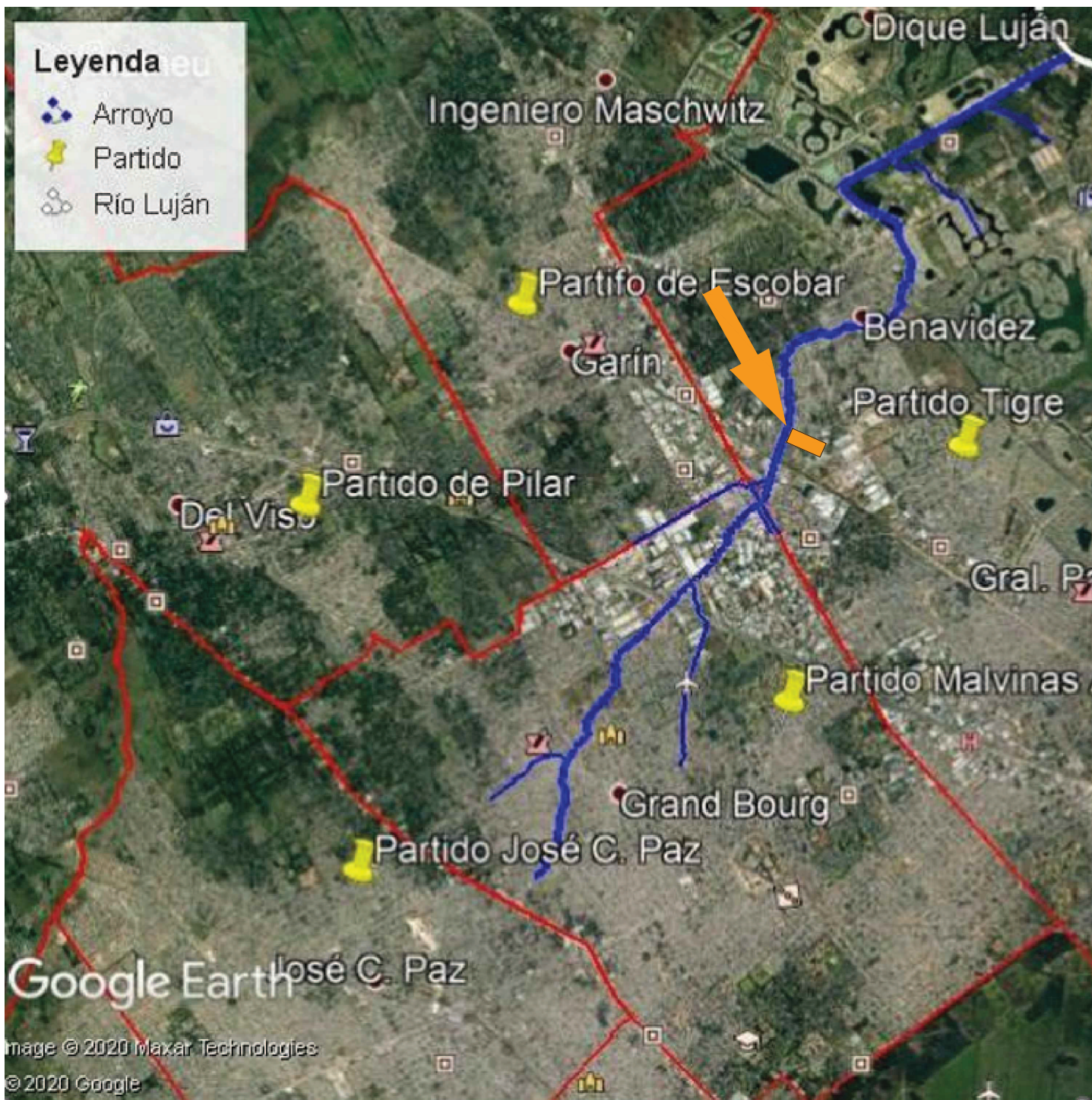
Vía País. (23 de septiembre de 2020). El basural del campo La Juanita: una problemática que se hizo crónica en Malvinas Argentinas. Noticia periodística. Recuperado de:
<https://viapais.com.ar/malvinas-argentinas/2014175-el-basural-del-campo-la-juanita-una-problematica-que-se-hizo-cronica-en-malvinas-argentinas/>

Virkutyte, J., Sillanpää, M., Latostenmaa, P. (2002). Electrokinetic soil remediation — critical overview. *Science of the Total Environment*, 289 (2002) 97-121.

Xu, D., Tan, X., Chen, C., Wang, X. (2008). Removal of Pb(II) from aqueous solution by oxidized multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials* 231 (2008) 572-584.

Zhang, Z., Li, M., Chen, W., Zhu, S., Liu, N., Zhu, L. (2010). Immobilization of lead and cadmium from aqueous solution and contaminated sediment using nano-hydroxyapatite. *Environmental Pollution* 158 (2010) 514-519.

ANEXOS

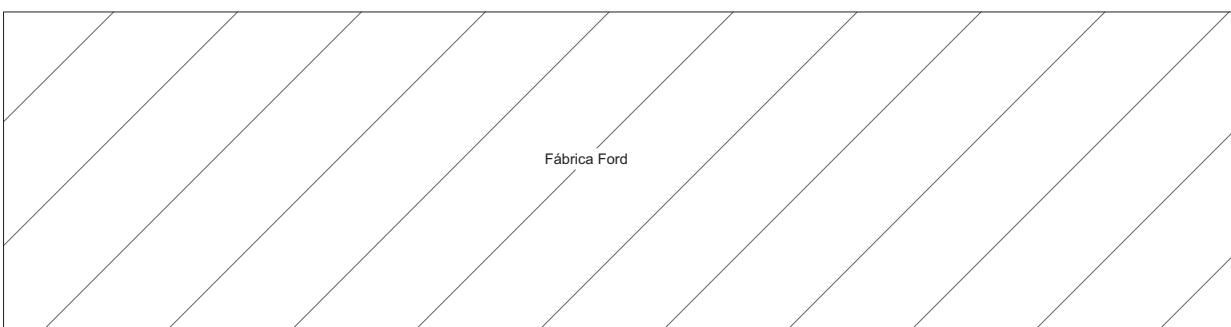
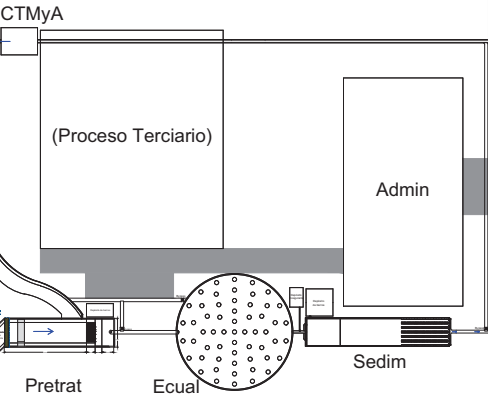
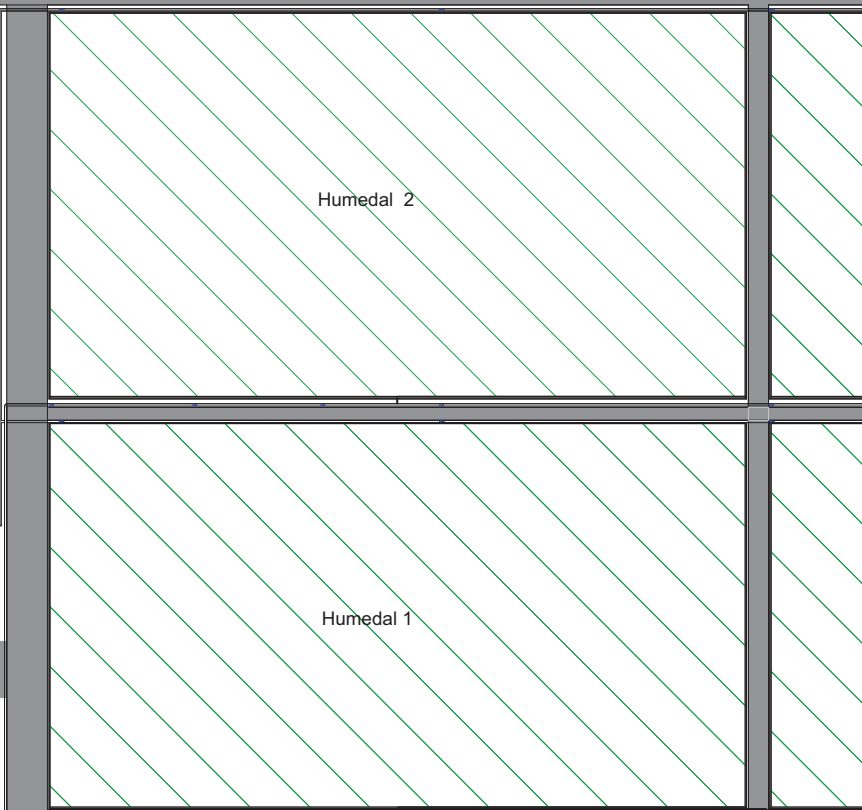
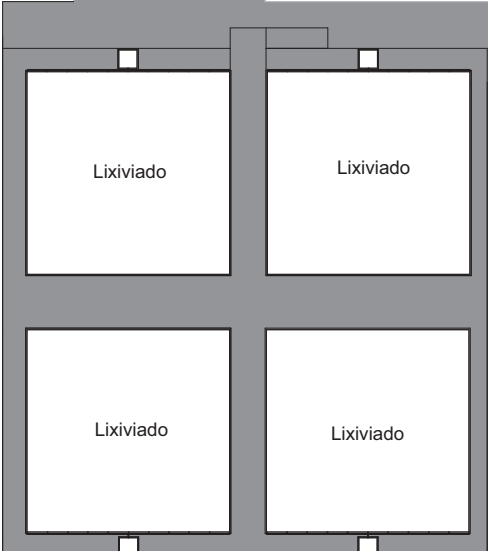
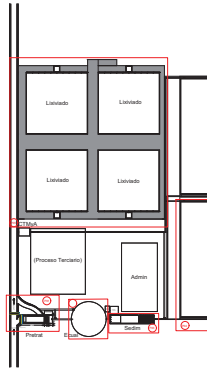


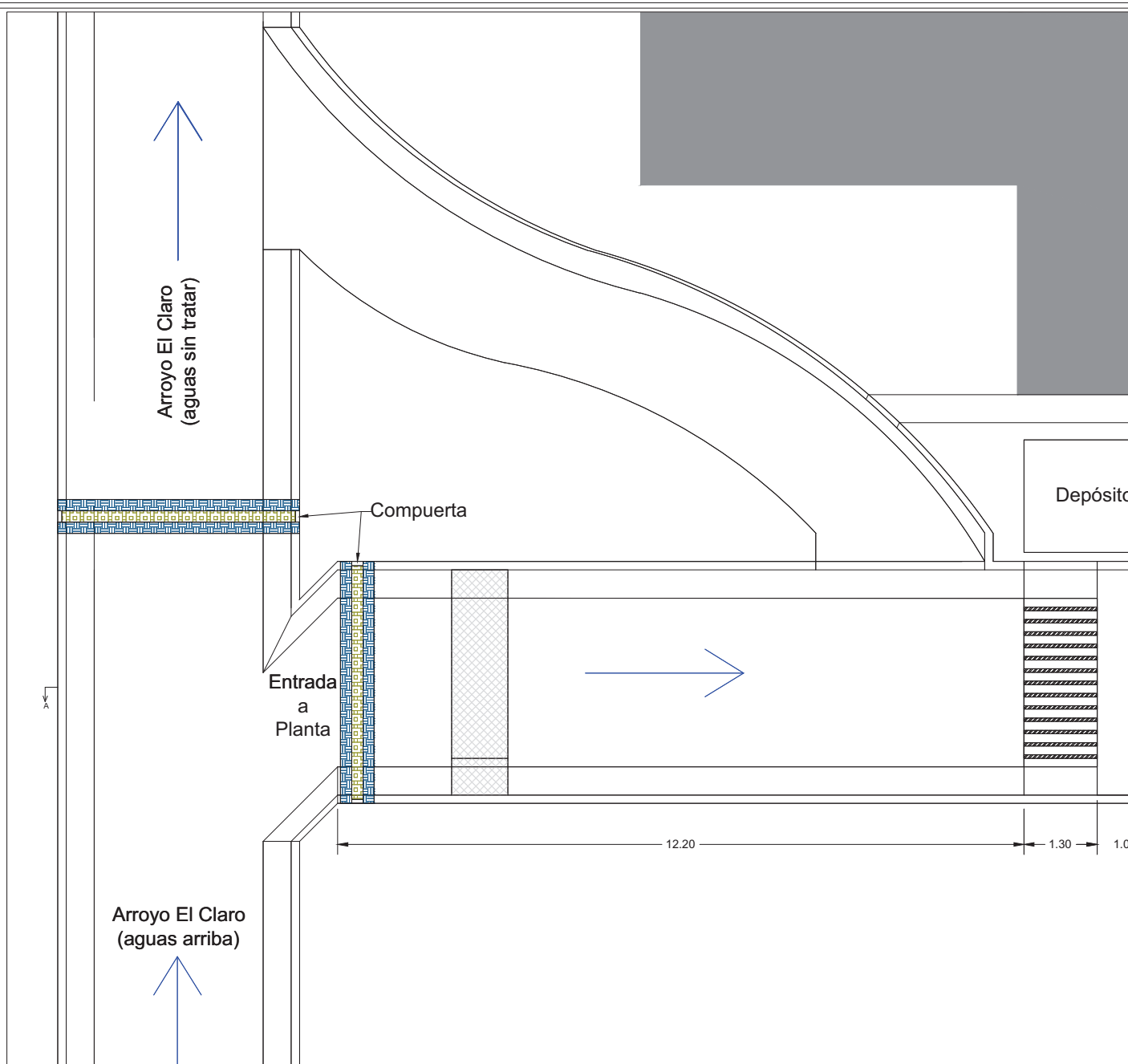
Arroyo El Claro

Arroyo El Claro

Entrada vial

Perfil hidráulico para el Humedal 6 (mas lejano)

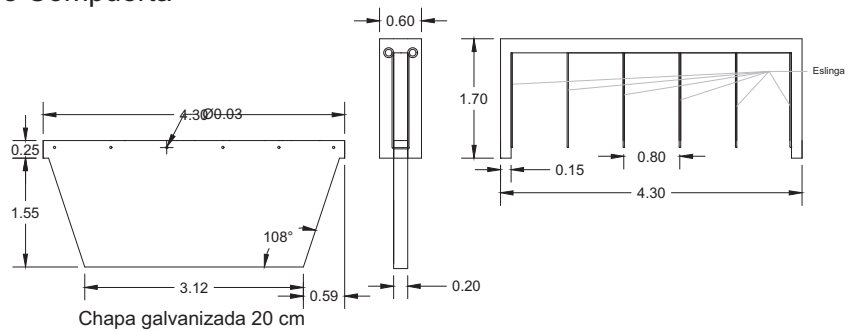


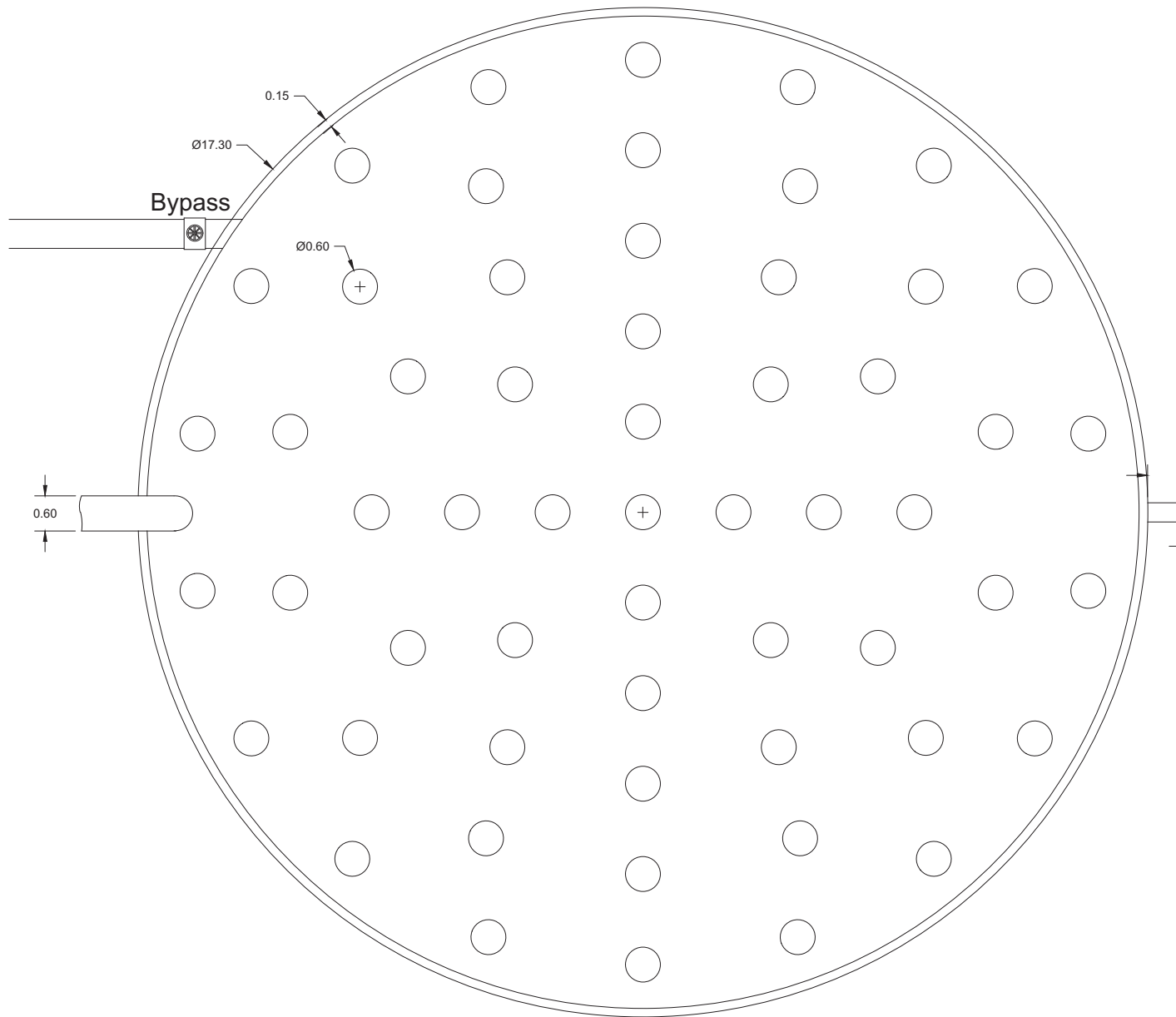
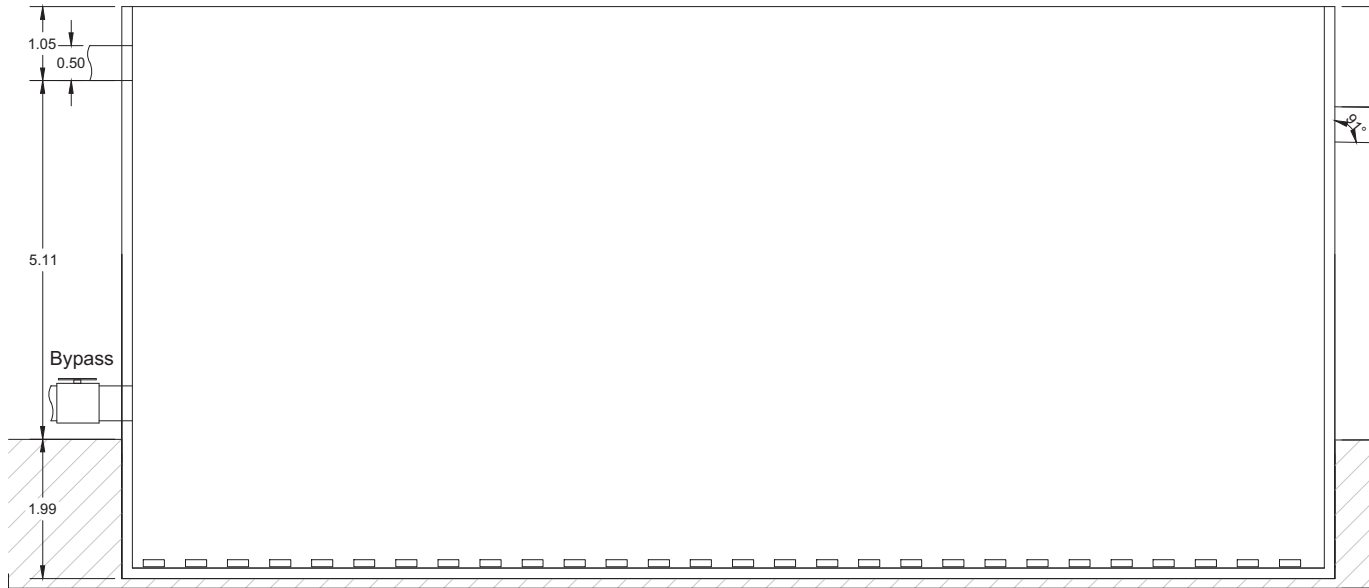


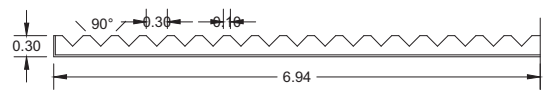
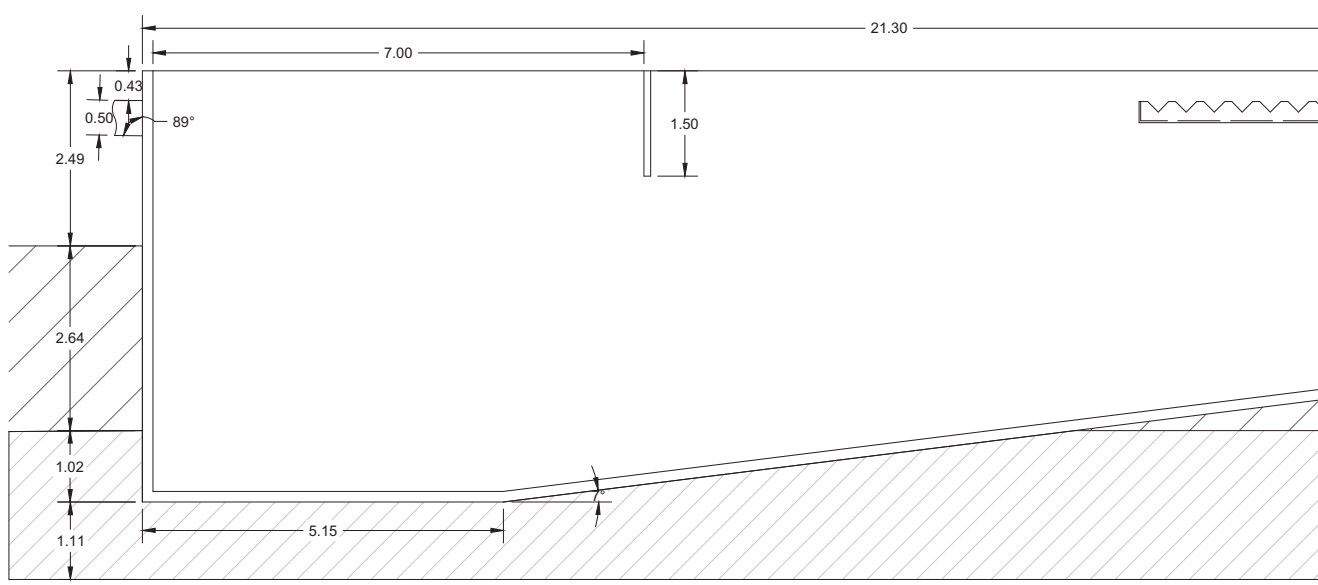
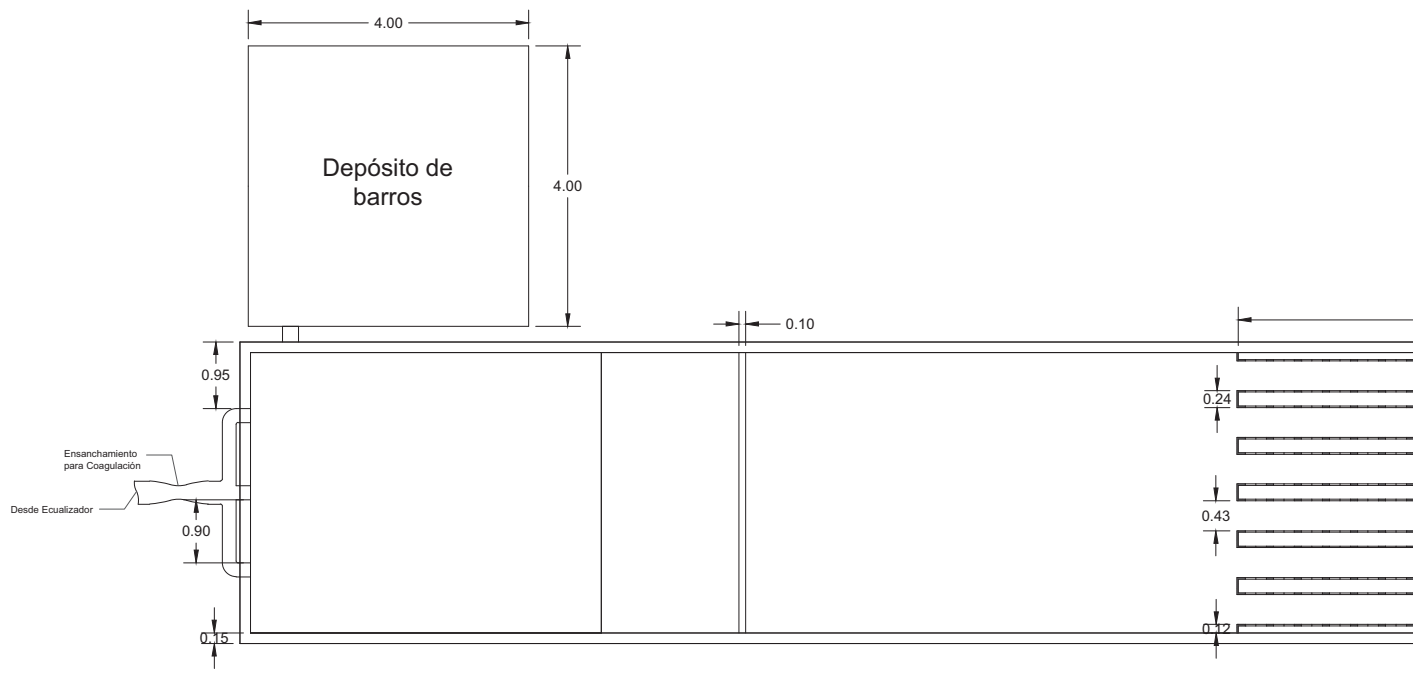
Corte AA'

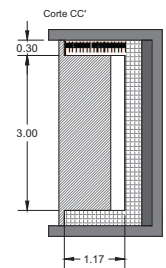
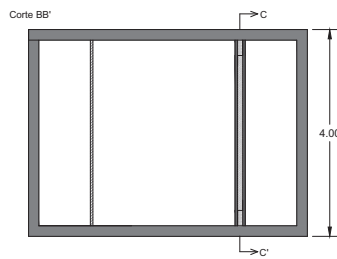
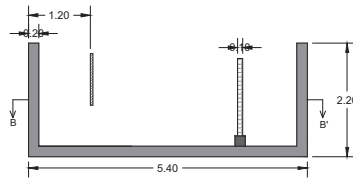
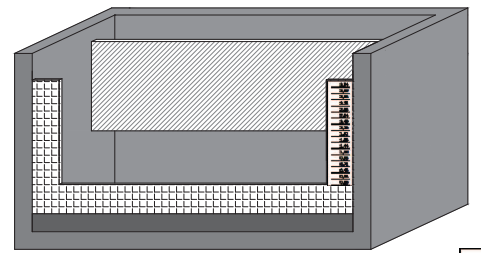
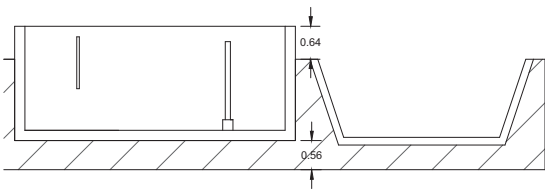
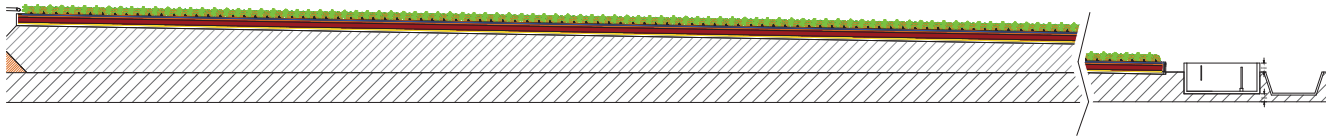
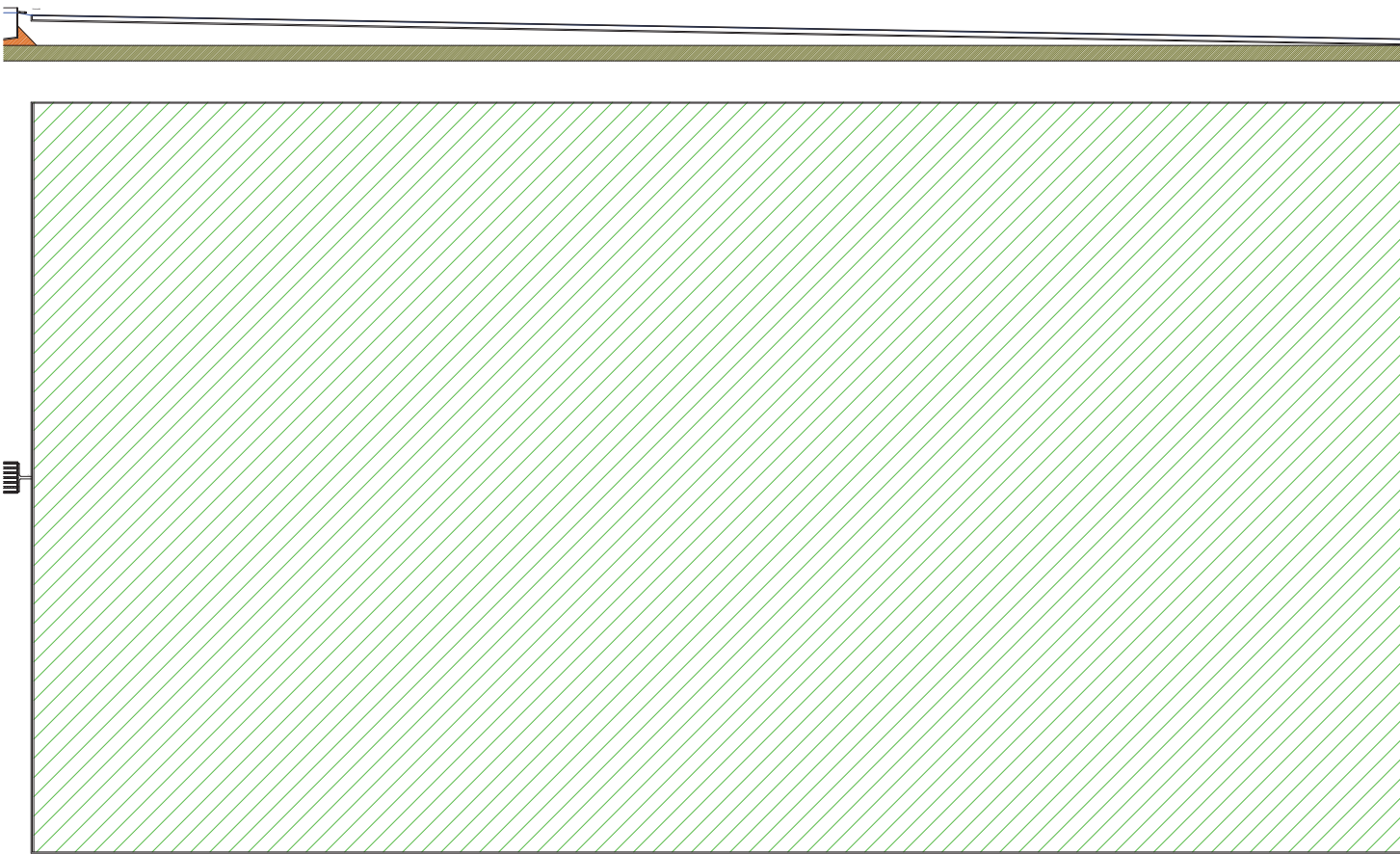


Detalle de Compuerta









3.84
3.60
3.36
3.12
2.88
2.64
2.40
2.16
1.92
1.68
1.44
1.20
0.96
0.72
0.48
0.24
0.00

