



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Concepción del Uruguay

Trabajo Final de Especialización en Ingeniería Ambiental

TÍTULO DEL TRABAJO: Mejoras del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la localidad de Pueblo General Belgrano.

ALUMNO: Lic. Gustavo Gabriel Ruhl.

DOCENTE: Ing. Fernando C. Raffo.

Año académico 2019

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
DIAGNÓSTICO	5
MARCO LEGAL	7
PROBLEMA	13
OBJETIVOS	17
General	17
Específicos	17
ANTECEDENTES.....	18
Internacionales	18
Nacionales	19
Provinciales	21
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	24
Alternativa 1: lagunas de aireación, sedimentación vuelco en río Gualeguaychú.	26
Alternativa 2: Ampliación de las lagunas de estabilización, vuelco en río Gualeguaychú.	29
Alternativa 3: construcción de laguna de maduración, vuelco al río Gualeguaychúy riego forestal.	33
MATRIZ DE DECISIÓN DE ALTERNATIVAS	35
DESARROLLO DE ALTERNATIVA SELECCIONADA	36
Clima	36
Vientos	37
Humedad relativa	38
Fisiografía	38
Suelos	38
Población actual y futura.....	39
Caudales	40
Descripción del sistema actual de tratamiento de efluentes líquidos cloacales.....	41
Estudio de batimetría.....	42
Verificación del funcionamiento actual de las lagunas	43
Tasa de acumulación de lodos y períodos de extracción.....	46
Construcción de laguna de maduración	48
Filtro Verde – Riego Forestal.....	49

Beneficios Ambientales.....	66
Beneficios económicos.....	67
Balance económico	70
CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

INTRODUCCIÓN

Mi nombre es Gustavo Ruhl, soy Lic. En Salud Ambiental, graduado de la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos, en la ciudad de Concepción del Uruguay, Entre Ríos.

Desde marzo de 2015 a la actualidad, me desempeño como Asesor Técnico de la Unidad Técnica Gestión Ambiental del Centro de Investigación y Desarrollo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de la provincia de Entre Ríos en Concepción del Uruguay, Argentina.

Realizo Asesoramientos Técnicos en Gestión de Residuos Líquidos y Sólidos de los sectores industriales, agroindustriales y urbanos enfocado en su Gestión Integral, lo cual abarca la capacitación en el desarrollo y aplicación de tecnologías y/o herramientas para minimizar la generación de los residuos, su tratamiento y disposición final, la sensibilización de las personas involucradas de forma directa e indirecta, entre otros.

Brindo Asesoramiento Técnico en Energías Renovables, puntualmente en la tecnología de Biogás a través del grupo interdisciplinario del INTI efectuando estudios de pre-factibilidad para proyectos de biodigestión anaeróbica; mediciones de caracterización de biogás generado en planta; relevamiento de plantas de biogás en el país y capacitaciones en la temática.

Soy Jefe de trabajos prácticos de las cátedras de “Saneamiento Ambiental” y “Normas Ambientales y Sistemas de Calidad” de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Entre Ríos en la carrera de grado de Lic. En Salud Ambiental. Participo activamente en proyectos de investigación y en proyectos de extensión universitaria.

El presente trabajo aborda una problemática actual a nivel nacional y provincial como es el correcto tratamiento y disposición de las aguas residuales cloacales. La localidad de Pueblo General Belgrano no es excepción, actualmente la planta de tratamiento de efluentes cloacales tiene irregularidades en cuanto a los límites de vuelco establecidos por la normativa provincial y está volcando sus efluentes tratados a canales naturales a cielo abierto que conducen el líquido a zonas bajas o depresiones que se encuentran en cercanía de la planta. Estas condiciones generan zonas anegadas en varios puntos y termina en infiltración por suelo. Este vuelco no presenta un

diseño o control por parte del operador de la planta de tratamiento, esta situación generó problemas legales con los dueños de los campos vecinos.

Este trabajo tiene como objetivo proponer mejoras al actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo General Belgrano a fin de poder cumplir con la legislación ambiental vigente en la provincia de Entre Ríos. Para ello, se analizaron tres alternativas de acuerdo a factores técnicos, ambientales, sociales, económicos, entre otros, en pos de seleccionar la tecnología de tratamiento que se adecue a la realidad local.

DIAGNÓSTICO

El sector de agua y saneamiento de Argentina tiene un atraso significativo en la cobertura de agua y cloaca, y requiere mejoras en la calidad y eficiencia de los servicios. Se estima que 39,8 millones personas residen en áreas urbanas (2015), de las cuáles el 87% tienen acceso a agua por red pública y el 58% a cloacas. No hay estadísticas confiables respecto del nivel de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, algunas fuentes calculan que se encuentra entre el 15 y el 20% de las aguas recolectadas (Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento. 2017).

La inestabilidad económica del país en décadas pasadas así como el fracaso de las cambiantes políticas sectoriales (en los 90 una privatización acelerada con debilidades contractuales e institucionales y en la década del 2000 una reestatización conflictiva que generó un alto pasivo social y económico) afectó la evolución armónica y sostenible del sector. Como consecuencia de ello la inversión en expansión quedó acotada y los servicios desfinanciados. Las instituciones sectoriales actuaron descoordinadas y sin una organización de rectoría al nivel nacional que estableciera las políticas, la programación y las prioridades. A lo anterior se suman cuestiones culturales a partir de incentivos que se dieron a la población: consumo no medido, tarifas extremadamente bajas, despilfarro del recurso y un entendimiento colectivo de que un bien indispensable debía ser gratuito o casi (Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento. 2017).

A nivel provincial la situación no difiere de la nacional. De acuerdo al último Censo en el año 2010 queda evidenciado que actualmente el 68% de la población cuenta con el servicio de cloacas, sin saber qué porcentaje del mismo es tratado de forma adecuada. A esto se suma que el 32% restante tiene un sistema de tratamiento y/o disposición final que en muchos casos no cumplen con las condiciones para depurar las aguas residuales, con el problema ambiental que esto conlleva. En la Tabla 1, se puede resumir lo expuesto anteriormente.

Tabla 1. Entre Ríos. Hogares y población censados en viviendas particulares por desagüe del inodoro, según departamentos. Año 2010. Fuente: Indec.

Total Provincia	Total de hogares particulares (1)	Tipo de desagüe del inodoro				Hogares sin baño / letrina
		A red pública (cloaca)	A cámara séptica y pozo ciego	Sólo a pozo ciego	A hoyo, excavación en la tierra, etc.	
Hogares	375.121	261.923	49.012	54.625	2.103	7.458
Población	1.222.585	832.467	165.525	193.544	7.334	23.715
	100%	68%	14%	16%	1%	2%

Pueblo General Belgrano es un municipio de segunda categoría fundado en el año 1983, conformado por 7.500 ha en total entre la zona rural y el área urbana. Su ubicación geográfica es estratégica, dista 3 km de la ciudad de Gualeguaychú, 230 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 260 km de Rosario y 25 km de la República Oriental del Uruguay. Su actividad económica principal es el turismo, y cuenta con complejo termal y abundantes espacios verdes como principales atractivos.

Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado en el año 2010, su población era de 2.179 habitantes; lo cual se ha incrementado en los últimos años y a 2018 se estima en 4.000 habitantes su población permanente; incrementándose la población principalmente en los meses estivales.

Su eje se encuentra en la llamada curva de Fiorotto en el encuentro entre el camino al balneario Ñandubaysal y la ruta provincial número 42. Desde esa intersección la trama urbana se desarrolla principalmente hacia el noreste en la que se encuentra la parte más antigua y hacia el sudoeste en donde están los nuevos loteos urbanos conocido como “Nuevo Pueblo Belgrano”.

MARCO LEGAL

Normativa referida a permisos ambientales y EIAS

Convenios Internacionales	
Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) Digesto sobre el Uso y Aprovechamiento del Río Uruguay	<p>Establece que cualquier tipo de obra o aprovechamiento de las aguas de Río Uruguay que pueda afectar la calidad de agua, deberá ser comunicado a la C.A.R.U, según art. 7 y 12 del Estatuto.</p> <p>Establece usos y clasificación de las aguas del Río y define estándares de calidad de estas.</p> <p>Asimismo, en el apartado de Prevención en Materia de Contaminación, se establece (Sección 1, Artículo 2, inciso n) que igual procedimiento aplica para el caso de fuentes de contaminación ubicadas aguas arriba del Río, como es el caso del Río Gualaguaychú.</p>
Resolución N° 13/05	<p>Sustituye en el Digesto, sobre usos del Río Uruguay, Tema E3, Título 2, Capítulo 4, “Clasificación de las aguas y Estándares de calidad de las aguas”.</p>

Legislación Nacional	
Constitución Nacional	<p>Régimen de Estado federal. Artículo 121: “Las provincias conservan todo el poder no delegado por esta Constitución al Gobierno federal, y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación”.</p> <p>Recursos naturales.</p> <p>Artículo 124: Las provincias conservan el dominio originario de los recursos naturales que se encuentren en su territorio, siendo los ríos un recurso natural enmarcado en este régimen.</p>
Ley N°25.675/02 Ley General del Ambiente	<p>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 sustentable. Establece principios de la política ambiental y de ordenamiento ambiental.</p> <p>Fija como uno de los instrumentos de la política y la gestión ambiental la Evaluación de Impacto Ambiental. (Arts. 8, 11, 12, 13, 21, Anexo I).</p>
Ley N° 24.354/94	<p>Se establece la obligatoriedad de realizar un Estudio de Factibilidad, al que también llama Estudio de Impacto Ambiental,</p> <p>de las todas inversiones ejecutadas con recursos públicos y para todo organismo público que presente un proyecto de inversión a nivel nacional.</p> <p>El Poder Ejecutivo nacional dispondrá la creación del órgano</p>

	responsable del Sistema Nacional de Inversiones Públicas en el ámbito de la Secretaría de Programación Económica del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos.
Decreto reglamentario N° 481/03	Designación de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable como autoridad de aplicación de la Ley 25.675/02.
Resolución SAyDS N° 41/18	Crea el Cuerpo Especializado de Fiscalización y Control ambiental, el cual será el encargado de controlar y monitorear el ambiente.
Resolución SAyDS N° 177/07	Establece actividades que deben contratar seguro ambiental, montos mínimos asegurables. Establece fórmula para categorización de industrias y empresas de servicios (Anexo II).
Resolución SAyDS N° 303/07	Modifica resolución 177/07.
Resolución SAyDS N° 1.639/07	Modifica resolución 177/07, adjuntando anexo con listado de rubros comprendidos de industrias y actividades de servicios.
Resolución N° 548/17	La toma de conocimiento de un incidente ambiental, que se encuentre cubierto por una póliza de seguro de caución por daño ambiental de incidencia colectiva, dará inicio a la apertura de un expediente en el ámbito de la unidad de Evaluación de Riesgos Ambientales, y/o el organismo que en el futuro lo reemplace.

Legislación de la Provincia de Entre Ríos

Ley N° 9032/96	Permite realizar acción de amparo ambiental contra cualquier decisión, acto, hecho u omisión de autoridad administrativa, judicial o legislativa.
Decreto N° 4.977/09	Aprueba la reglamentación del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), para la planificación estratégica de la localización de actividades y emprendimientos en territorio de la Provincia. Establece que ningún emprendimiento o actividad que requiera del mismo, podrá iniciarse hasta tenerlo aprobado por la Autoridad de Aplicación, mediante el Certificado de Aptitud Ambiental. Establece como autoridad de aplicación a la Secretaría de Ambiente y explica el procedimiento administrativo para la categorización de la actividad y para la aprobación del EsIA.
Decreto N° 3237/10	Establece modificación del art. 48 del Decreto 4977/09 (Requisitos del Registro de Consultores).
Resolución SA N° 038/10	Crea el Registro Provincial de Consultores en Estudios de

	Impacto Ambiental y aprueba Formularios a presentar con carácter de Declaración Jurada para su inscripción.
Resolución SA N° 504/12	Modifica Resolución SA 038/10.

Legislación municipal

Ordenanza N°11217/2009	Establece por la presente ordenanza el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.) para el ejido de la Municipalidad de Gualeguaychú.
Ordenanza N° 12.080/16:	Prohíbe la habilitación y/o construcción de todo nuevo emprendimiento, así como también toda actividad, obra, movimiento de suelo, relleno de terrenos y construcciones que se pretenda realizar en las costas ribereñas del ejido Gualeguaychú, tanto sobre el Río Uruguay, Río Gualeguaychú, así como el arroyo Gualayán y arroyo El Cura, otros arroyos internos y/o cañadas que desagüen en ellos, que impacten en forma negativa sobre el suelo, aire, agua, biodiversidad y/o ecosistemas a la vera de las costas mencionadas

Normativa referida a Calidad de Agua y Vertido de Efluentes

Convenios Internacionales

Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) Digesto sobre el Uso y Aprovechamiento del Río Uruguay	Establece no alterar el mantenimiento de los estándares de calidad fijados para el río. Y dispone en Capítulo 5, que “cada parte dictará las normas a las que deberán ajustarse los efluentes provenientes de las actividades desarrolladas en su jurisdicción.” Establece límites referidos a sólidos sedimentables (2 horas) y valor máximo de vertido para grasas y aceites.
Resolución N° 13/05	Sustituye en el Digesto, sobre usos del Río Uruguay, Tema E3, Título 2, Capítulo 4, “Clasificación de las aguas y Estándares de calidad de las aguas”.

Legislación Nacional

Ley N° 2.797/1891	Establece el requisito general de no contaminar recursos hídricos y prohíbe el vertido de aguas cloacales, residuales e industriales sin tratamiento en ríos de la Nación.
Resolución SRNyAH N° 242/93	Regula los vertidos de establecimientos industriales o especiales alcanzados por el Decreto N° 674/89, que contengan sustancias peligrosas de naturaleza ecotóxicas, estableciendo límites de

	contaminación tolerados.
Ley N° 13.577/49	Ley orgánica para la Administración General de Obras Sanitarias de la Nación.
Ley N° 25.688/02	Ley de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos. Establece presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional, utilización de las aguas, comités de cuencas hídricas, entre otros.
Decreto N° 674/89	Establece el régimen al que se ajustarán los establecimientos industriales y/o especiales que produzcan en forma continua o discontinua vertidos industriales o barros originados por la depuración de aquellos a conductos cloacales, pluviales o a un curso de agua. Reglamenta Ley 13.577.
Decreto N° 776/92	Asigna a la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano el poder de control de la contaminación de las aguas y preservación de los recursos hídricos y crea la Dirección de Contaminación Hídrica. Modifica Decreto 674/89.
Resolución SRNyAH N° 315/94	Establece estándar de calidad para los vertidos líquidos directos a cuerpo de agua.
Ley N° 26.221/07	Establece prestación del servicio de provisión de agua potable y colección de desagües cloacales. Control de la contaminación hídrica. Marco regulatorio.
Resolución SAyDS 555/12	Establece que los establecimientos industriales y/o especiales comprendidos en el artículo 2° del Decreto N° 674/89 y su modificatorio, deberán construir dentro del plazo de sesenta (60) días hábiles, una cámara de toma de muestras y medición de caudales, destinada al ejercicio de las funciones de fiscalización. En caso de contar con instalaciones preexistentes, deberán adecuarlas.

Legislación de la Provincia de Entre Ríos

Ley N°6.260/78 Decreto reglamentario N° 5.837/91	Establece la prevención y control de la contaminación ambiental industrial. Establece parámetros de vuelco en el Anexo I para establecimientos industriales.
Ley N°9008/96	Define y demarca la línea de Ribera y mapas de zonas de riesgo hídrico, en los ríos de Paraná, Uruguay e interiores navegables de la Provincia. La Autoridad de Aplicación es la Dirección de Hidráulica.
Ley N°8534/96	Regula la construcción y el mantenimiento de obras de

	<p>endicamentos para defensa y manejo de Aguas correspondientes a zonas ubicadas en ríos, arroyos, canales y anegadizos con el objetivo de evitar inundaciones en caso de repuntes de las aguas y clasifica las obras de sistematización y defensa. La Autoridad de Aplicación es la Dirección de Hidráulica.</p>
Decreto reglamentario N° 5.394/96	<p>Modifica el decreto 5837/91.</p>
Ley N° 9.172/98	<p>Establece el Código de aguas y regula el uso productivo del recurso superficial y aguas subterráneas. Especifica que todos los permisos de uso deben ser otorgador por la Autoridad de Aplicación que lo define como el Consejo Regulador del Uso de Fuentes de Agua.</p>
Decreto reglamentario N° 7.547/99	<p>Reglamenta la Ley 9.172/98. Establece Gestión administrativa del agua, requisitos a cumplir para otorgar permisos o concesiones a los usuarios y fija requerimientos jurídicos, administrativos y técnicos para la elaboración de los estudios para el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas. La Autoridad de Aplicación es el CORUFA.</p>
Decreto SEOySP N° 2.235/02	<p>Establece valores guías para la calidad del agua potable y valores máximos permitidos para el vertido de líquidos cloacales a cursos de agua con o sin tratamiento, que deben cumplir los distintos Entes prestadores de Servicios de provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales.</p>
Ley N°9.757/07	<p>Crea el Régimen de los Comités de Cuenca y Consorcios del Agua; el mismo tiene la finalidad de generar condiciones y proyectos, asegurando así la integración regional, provincial y la explotación racional de las obras hidráulicas y del aprovechamiento sustentable del agua de dominio público. La autoridad de aplicación es el CORUFA.</p>
Resolución 554/15	<p>Considerando que es necesario, oportuno y conveniente implementar técnicas de reuso de efluentes tratados como riego forestal, a los fines de subsanar posibles impactos al ecosistema acuático; Disponer que todo establecimiento productivo, industrial y/o de servicio instalado o por instalarse en el territorio provincial, cuyos efluentes líquidos puedan ser reutilizados como riego forestal, cumplan con lo establecido en la presente. En el anexo I se explicitan los límites de emisión para riego forestal de las actividades productivas industrial y/o de servicio y en el anexo II, se dan las pautas del plan de monitoreo para la actividad.</p>

Legislación Municipal

Actualmente se está trabajando sobre una ordenanza municipal para establecer los requisitos que deben cumplir las firmas y/o empresas transportadoras de efluentes o residuos líquidos, sólidos o mezcla de ellos, que tengan origen y/o destino final en el municipio de Pueblo General Belgrano.

Normativa referida a Gestión de Barros Cloacales y Biosólidos

Legislación Nacional	
Resolución MAdyDS 420/18	Manejo Sustentable de Barros y Biosólidos Generados en Plantas Depuradoras de Efluentes Líquidos Cloacales y Mixtos Cloacales-Industriales. Establece criterios para el manejo, tratamiento, utilización, disposición o eliminación de los barros y biosólidos resultantes de las diferentes operaciones unitarias que realicen las plantas depuradoras de efluentes líquidos cloacales y mixtos (cloacales-industriales).

Normativa referida a Plantaciones Forestales.

Legislación Nacional	
Ley N° 25.080/98	Inversiones en Bosques Cultivados que promueve inversiones en emprendimientos forestales y foresto-industriales y contempla beneficios económicos y beneficios fiscales.
Ley N° 27.487/19	Prorroga y modificación de la ley 25.080/98.

PROBLEMA

En la localidad de Pueblo General Belgrano, actualmente el 70% de los hogares cuenta con conexión a la red cloacal, es decir, 1300 hogares, lo que representa una cantidad de 540 m³/día aproximadamente de aguas servidas que deben ser tratadas por la Cooperativa de Provisión de Agua Potable y otros Servicios Públicos de Pueblo Gral. Belgrano (Cooperativa), que es quien tiene a su cargo el tratamiento de los efluentes cloacales. Dicha Cooperativa viene trabajando desde hace varios años en el monitoreo de los efluentes cloacales, debido a los problemas (operativos y estructurales) que la misma tiene en cumplir con la normativa vigente (Figuras 1 y 2).

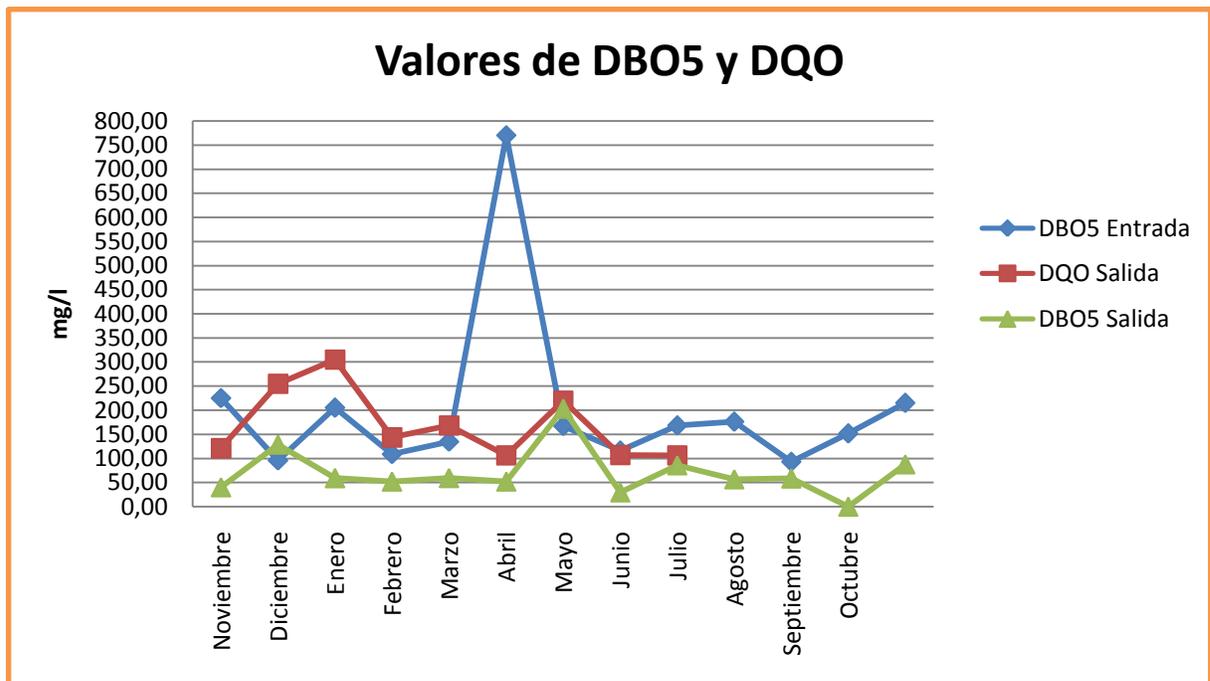


Figura 1. Valores de entrada de DBO₅ y salida de DBO₅ y DQO.

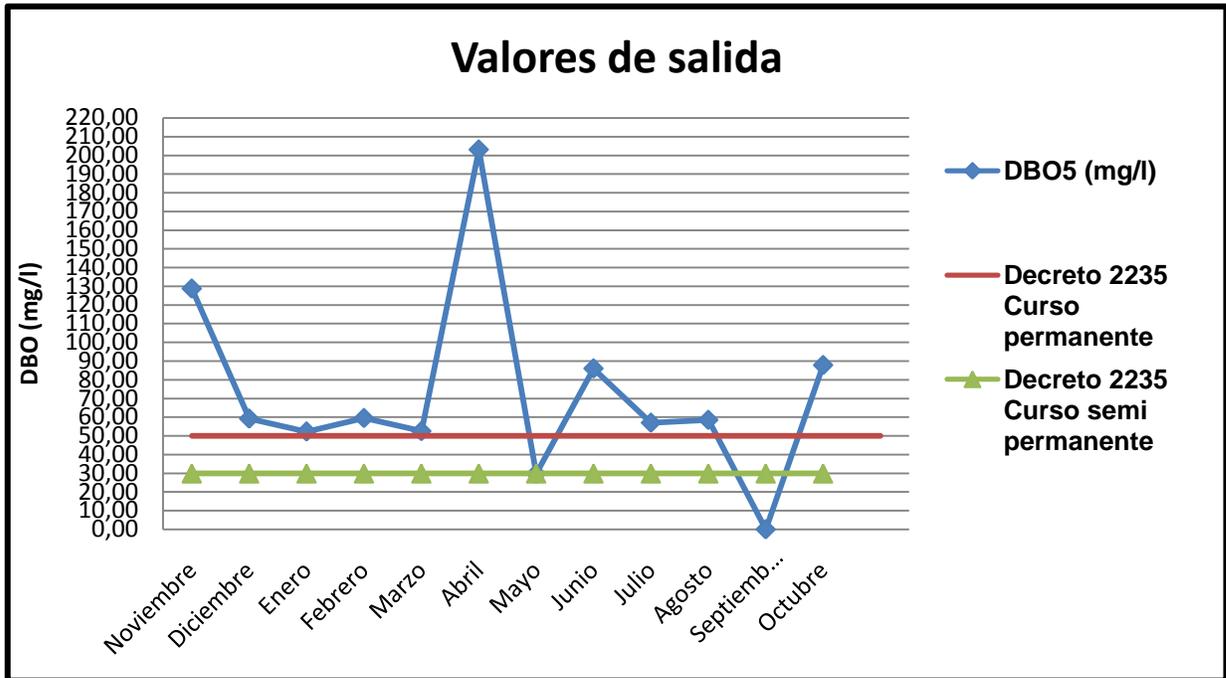


Figura 2. Valores de salida respecto a Decreto reglamentario N° 2235/02.

El sistema de tratamiento de efluentes cloacales en referencia está ubicado en un predio de 2 Ha en el ejido de la Municipalidad de Gualeguaychú (33°02'10,5" S; 58°29'14,5" E) quien le ha cedido el terreno, al cual se accede por calle 20 camino de la costa, calle 8570, Mariano Sánchez; y dista 650 m del barrio más próximo, 2.800 m de la plaza principal de Pueblo General Belgrano y 2.500 m de la ciudad de Gualeguaychú (Figuras 3 y 4).

Según notificación de la Cooperativa, el terreno en el que se emplaza el sistema de lagunas no tiene inundaciones periódicas.

Actualmente la planta de tratamiento está volcando sus efluentes tratados a canales naturales a cielo abierto que conducen los efluentes líquidos a zonas bajas o depresiones que se encuentran en cercanía de la planta. Estas condiciones generan zonas anegadas en varios puntos y termina en infiltración por suelo. Este vuelco no presenta un diseño o control por parte del operador de la planta de tratamiento, esta situación generó problemas legales con los dueños de los campos vecinos (Figura 5).



Figura 3. Ubicación del sistema de tratamiento (rectángulo rojo) respecto a la ciudad de Gualeguaychú y Pueblo General Belgrano.



Figura 4. Ubicación de las lagunas de tratamiento (1 y 2: lagunas anaeróbicas; 3 y 4: lagunas facultativas), lindantes al camino de la costa.

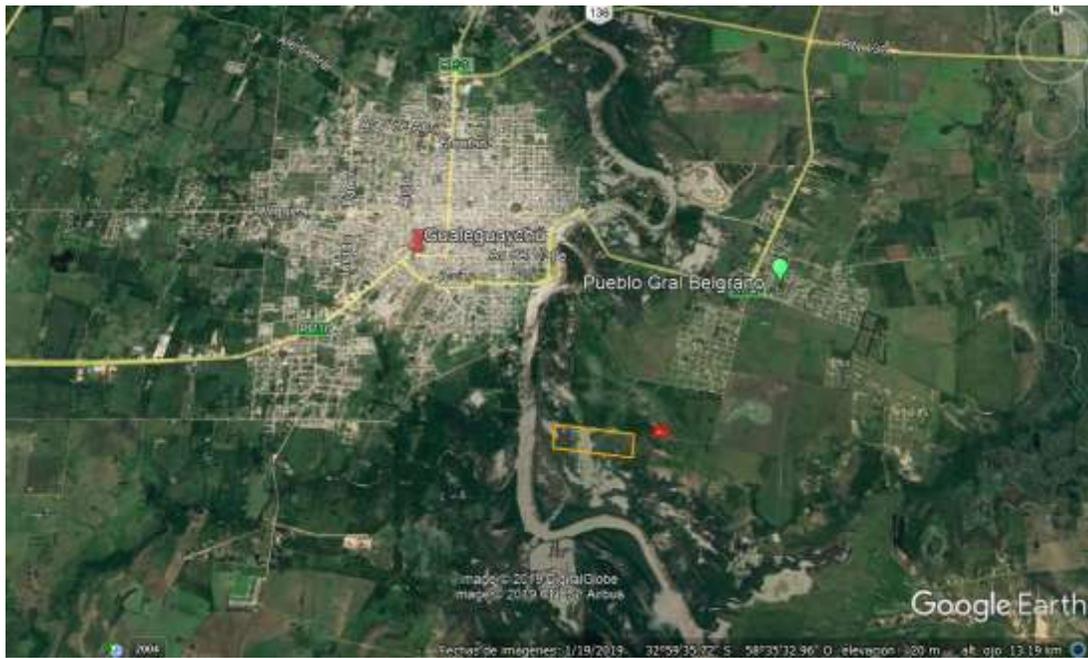


Figura 5. Ubicación del sistema de tratamiento (rectángulo rojo), punto de vuelco actual (rectángulo naranja) respecto a la ciudad de Gualeguaychú y Pueblo General Belgrano.

OBJETIVOS

General

Mejorar el actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo General Belgrano a fin de poder cumplir con la legislación ambiental vigente en la provincia de Entre Ríos.

Específicos

- Analizar el sistema de tratamiento de efluentes proyectado para la ciudad de Pueblo General Belgrano.
- Analizar la viabilidad de realizar riego forestal con el vuelco final de los efluentes cloacales de la ciudad de Pueblo General Belgrano.

ANTECEDENTES

Internacionales

El uso de las aguas residuales para el riego probablemente es tan antiguo como el cultivo de la tierra. Sin embargo, el aprovechamiento controlado en gran escala se remonta sólo al siglo pasado, cuando en algunas partes de Europa, Australia, la India y los Estados Unidos se crearon explotaciones agrícolas establecidas para la evacuación de aguas residuales mediante su uso para riego de cultivos y a veces de árboles con el fin de eliminar las aguas negras y evitar la contaminación de los ríos. Aunque en estos campos se producían cultivos agrícolas, su producción era una cuestión secundaria. Hay también ejemplos de campos donde se regaban plantaciones de árboles con aguas residuales, como el de El-Gabal El-Asfar, situado a unos 30 km al noroeste de El Cairo, donde en 1911 se creó una plantación de árboles inicialmente de 200 ha para eliminar las aguas negras de la ciudad. A mediados de los años ochenta, el bosque se transformó para producir cítricos, cereales y hortalizas. Para esa época el campo había crecido de tamaño, hasta alcanzar las 1.260 ha. (S. Braatz y A. Kandiah. 2004).

➤ En Australia se están usando cada vez más las aplicaciones sobre el terreno como medio eficaz para la eliminación inocua y productiva de las aguas residuales que han recibido un tratamiento secundario y cuya descarga en los ríos ha provocado floración de algas y eutroficación en algunos lagares. Las plantaciones de árboles extraen eficazmente el nitrógeno y el fósforo de los afluentes depurados antes de que entren en el sistema hidrológico y contribuyen a «reverdecer» Australia y mantener las industrias forestales locales. La superficie de las plantaciones de árboles regadas con afluentes ha aumentado de 500 ha en 1991 a casi 1 500 ha en 1995. Ahora hay más de 60 plantaciones regadas con afluentes cuyo tamaño varía de una a varios cientos de hectáreas (CSIRO, 1995).

➤ En Brasil, investigadores han evaluado la eficiencia de la práctica de reutilización del agua en agricultura y silvicultura en la producción de numerosos cultivos. Cuando se trata de cultivos Veronêz (2015) verificó la productividad y la viabilidad económica de la aplicación de efluentes sanitarios de lagunas de estabilización en el riego de Eucalypto de la especie *urograndis* en un trabajo experimental desarrollado en el municipio de Franca en São Paulo. Como resultado, el autor descubrió que los tratamientos de efluentes irrigados presentó mayor productividad que las demás, llegando hasta un 48% más alto que el de secano.

➤ Minhas et al. (2015) estudiaron el efecto del riego a largo plazo (10 años) utilizando aguas residuales domésticas y subterráneas para el crecimiento y la producción de biomasa eucalipto de la especie *tereticornis* Sm. Cambios en las propiedades del suelo monitoreados después de 10 años han mostrado ventajas en términos de reducción del pH del suelo, contenido de nitrógeno disponible y partido. El principal beneficio se obtuvo al mejorar la materia orgánica del suelo.

➤ En un estudio de Silva et al. (2015) evaluaron el cultivo de plántulas de eucalipto especies de *urograndis* regadas con aguas residuales domésticas tratadas en una estación de reactor anaeróbico y estanque de pulido. Como resultado, se obtuvo una buena eficiencia durante los 3 meses de experimento, con eliminación de DBO, DQO y helmintos del 90, 87 y 100%. Esto representa un factor positivo porque las características del efluente cumplen los requisitos necesarios y son compatibles con los requisitos de cultura utilizada.

Nacionales

Las principales experiencias en reuso de aguas residuales tratadas en la Argentina se prestan en la Provincia de Mendoza, que lo aplica principalmente para riego agrícola; en las localidades de Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia, en la Provincia de Chubut con fines forestales; y en Villa Nueva, provincia de Córdoba, destinada al riego hortícola, florícola y forestal.

➤ En el caso de la Provincia de Mendoza, el reuso directo e indirecto de efluentes domésticos para riego de cultivos, se realiza de manera desordenada desde varias décadas atrás. Se ha desarrollado un programa integrado que contempla el tratamiento último del efluente (disposición final en tierra) y el aprovechamiento de esta agua en los cultivos mediante su reutilización para riego, de acuerdo con las directrices sanitarias para usos de aguas en agricultura de la Organización Mundial de la Salud.

En la planta depuradora Campo Espejo, la calidad de las aguas residuales permite realizar un reuso directo, el que se lleva a cabo mediante un convenio entre la empresa operadora, el Departamento General de Irrigación y los regantes de la zona. Se riegan aproximadamente 2000 hectáreas correspondientes a 100 explotaciones, en las que se cultiva vid, hortalizas y forestales.

Por otro lado, en la planta de Paramillo, el 70% de las aguas residuales tratadas son utilizadas para reúso indirecto, tras ser volcadas al río Mendoza para su posterior distribución por los canales de riego de un área de 18.000 hectáreas; en tanto que las restantes son destinadas al reúso directo para el riego en tres explotaciones agropecuarias que cultivan vid, hortalizas, forrajes y forestales.

Es de destacar, que esta provincia ya posee un organismo de control de estas actividades, así como también cuenta con una legislación que reglamenta el uso de esta agua, determinando en que cultivos puede utilizarse la misma, conforme al tratamiento que se les ha realizado previamente, y estableciendo penas para aquellos usuarios que no cumplan con las normas establecidas. (Doria Josefina. 2013).

➤ La localidad de Adelia María (Córdoba), con una población de 6.500 habitantes. Esta localidad no cuenta con cursos de aguas permanentes que permitan recibir los efluentes y la napa freática tiene una profundidad de 12 a 16m. Hasta el final de los años 90, la técnica utilizada eran los “pozos negros”. Las aguas residuales de los hogares se colocaban en pozos realizados en proximidad de la vivienda, sin tratamiento. La localidad inicio el tratamiento de efluentes cloacales con una planta provista de un filtro de reja, lagunas facultativas de estabilización y filtros verdes (forestación) como cuerpo receptor de los efluentes tratados, esta planta es gestionada por la Cooperativa de Adelia María (CTAM). El volumen estimado de aguas residuales fue de 510 m³ día⁻¹ para las 680 conexiones. La forestación y sistema de riego abarca un área de 16 ha. La planta cuenta además con un sistema de lagunas de estabilización u oxigenación, donde se biodegradan las aguas de manera natural con ayuda de compuestos químicos apropiados.

En una entrevista, Raúl Torres, asesor técnico desde el inicio de esta experiencia, brindó un dato más que relevante al anunciar que hoy este pulmón verde genera mayor cantidad de carbonos de los que la población adeliariense necesita. “Creo que es un sistema más que óptimo que puede ser aplicado en cualquier región”. Y explicó que en esta temática se puede pensar en usar un curso de agua donde volcar los líquidos residuales, o utilizar el agua tratada. “En Adelia no tenemos un curso de agua, y la mejor forma es usarla y lograr de ello un beneficio. Por eso creo que es también muy interesante para aplicarse en zonas muy secas. Además se puede lograr otro beneficio extra que es la madera que se logra de las plantaciones”.

➤ La ciudad de Río Cuarto (Córdoba, Argentina) que posee una población de aproximadamente 160.000 habitantes y donde el 75% cuenta con servicio de cloacas. El vertido diario de efluentes alcanza en promedio los 30.000 m³. Este vertido llega a una antigua planta de tratamiento primario y secundario que fue puesta en funcionamiento, luego de 30 años de inactividad, periodo en el cual los efluentes eran vertidos al cauce del río Cuarto sin tratamiento alguno. Fue en el 2003 que la empresa Municipal de Obras Sanitarias, formalizó un protocolo de trabajo con la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), para el diseño e implementación de un filtro verde forestal. La superficie de filtro verde (forestación) requerido para captar todo el vertido de la Ciudad se estiman en 360 ha (Cisneros et al., 2003).

Provinciales

➤ Proyecto de “Ampliación Planta de Tratamiento de los Efluentes Líquidos Cloacales de la Planta de tratamiento de Pueblo General Belgrano”. Este documento describe las estructuras necesarias para la ampliación y mejoras de la planta de tratamiento de efluentes líquidos cloacales, donde se plantean las siguientes etapas: cerco perimetral y acondicionamiento externo; tendido eléctrico hasta la planta, acometida eléctrica, instalación eléctrica general, grupo electrógeno 80 KVA; estación y cámara de bombeo; mejoras al sistema primario, construcción de desarenador, cámara de rejillas; cámara partidora de caudales; mejoras a las lagunas con la incorporación de aireadores; sistema de cloración y caño de conducción al río Gualeguaychú. Este proyecto tenía un presupuesto de \$10.986.344,12 (pesos diez millones novecientos ochenta y seis mil trescientos cuarenta y cuatro pesos con doce centavos).

Se obtuvo un financiamiento por parte del Plan Nacional Hábitat del Ministerio del Interior de la Nación, gestionado por el Municipio local, el cual se están llevando a cabo algunas etapas planteadas en el proyecto como: el cerramiento y cerco perimetral, la estación de bombeo, la playa de secado, la cámara séptica para tratamiento primario de los líquidos provenientes de camiones atmosféricos, la sala de máquinas, el sistema de cloración y la cañería para llegar desde la salida de las lagunas al punto de vuelco de los efluentes tratados en el río Gualeguaychú. Cabe aclarar que la partida de dinero que se tuvo acceso es a \$7.320.000,00 (pesos siete millones trescientos mil con cero centavos), dinero que no alcanza para todas las etapas previstas en el proyecto original.

Algunas etapas fueron realizadas con fondos de la cooperativa, como la construcción del desarenador y cámara partición de caudales.

➤ “Mejora del sistema de tratamiento cloacal de la ciudad de Colón, Entre Ríos” trabajo final para la obtención del título de especialización en Ingeniería Ambiental, UTNFRUCU, Autor: Esp. Ing. Roberto Vergara. El trabajo aborda una problemática recurrente en la mayoría de las ciudades de la provincia de Entre Ríos como lo son los sistemas de tratamientos cloacales y descarga final de los mismos. Se consideró la Ciudad de Colón, como base para el estudio y desarrollo de alternativas en busca de una solución, técnico económica, social y ambientalmente viable. El objetivo fue analizar distintos tipos de tratamientos para proyecto futuro y la viabilidad de realizar un riego forestal con el vuelco final del nuevo sistema de tratamiento.

Dicha ciudad posee una particularidad, es uno de los centros turísticos más importantes de la provincia y es visitado en épocas estivales por un número de turistas que prácticamente duplica la población estable, agravando de esta manera la problemática producto del aumento de caudal de efluente a tratar, quedando sub dimensionado el actual sistema de tratamiento, el que ya se encuentra en el fin de su vida útil de diseño.

➤ Riego de Eucalyptus Grandis con aguas residuales urbanasen Colonia Ayuí, Entre Ríos. Proyecto desarrollado entre la EEA Concordia de INTA y la Facultad Regional Concordia de la UTN junto al Municipio de Colonia Ayuí, la empresa MASISA, la ONG Salto Grande Ambiental y La CTM Salto Grande, como respuesta a las frecuentes floraciones algales en las aguas del lago Salto Grande producto de la eutrofización. El objetivo del proyecto es disminuir el aporte de nitrógeno y fósforo a las aguas del Lago Salto Grande, sin afectar otros recursos y evaluar el comportamiento de una plantación de Eucalyptusgrandis irrigada con efluentes cloacales. En total, se utilizan 42 millones de litros anuales, que anteriormente al proyecto eran volcadas al lago Salto Grande Este logró mejora la calidad del agua del lago y de vida de 3.000 vecinos y turistas.

La municipalidad cuenta con un sistema de tratamiento de aguas cloacales compuesto por un tratamiento primario de rejas y un tratamiento secundario de lagunas de estabilización. El tratamiento secundario lo componen dos módulos de dos lagunas cada uno. La primera laguna es anaeróbica y la segunda facultativa. Originalmente, luego del tratamiento secundario los efluentes eran vertidos al lago de Salto Grande. Con financiación de la Secretaría de Ambiente de la

Nación se instaló en el año 2014 una estación de bombeo y filtrado que permitió conducir los efluentes hasta el predio “La Lata” propiedad de la empresa MASISA a unos 2000 m de la descarga original. En un lote de 15 ha de “La Lata” se realizó una replantación en noviembre de 2013, con un distanciamiento de 3 m x 3 m. Posteriormente se instaló el sistema de riego por goteo en 12 ha, exceptuando 3 ha en la zona más baja. El distanciamiento entre los goteros es de 1 m, la distancia entre las líneas de goteo es de 3 m y el caudal de los goteros es de 3,6 l/h.

En una entrevista, Natalia Tesón –investigadora del INTA y UTN FR Concordia, Entre Ríos- cuenta que “en las parcelas regadas hubo un incremento del 30 % en el volumen de los árboles, en comparación con las parcelas que no recibieron este riego” quien, además, señaló que “los monitoreos indicaron aumentos positivos para algunos nutrientes en el suelo”, y si bien se observaron cambios en la química del suelo los indicadores analizados no mostraron valores que produzcan efectos adversos para la especie utilizada. Si bien estos resultados son preliminares, la reutilización de los efluentes para el riego de plantaciones forestales podría ser una alternativa al vertido de efluentes en las aguas superficiales.

➤ “Proyecto Forestal Remediativo con Reúso de los Efluentes Tratados para Riego de Plantaciones Productivas. Fadel S.A.”.

Fadel es una empresa ubicada en Colón, dedicada a la cría y venta de pollos parrilleros y porcinos. A partir del tratamiento que realizan a sus efluentes, el mismo es utilizado para el riego forestal de las plantaciones ubicadas en los alrededores de la planta. Con este sistema, desde diciembre de 2017 a abril de 2018 se reutilizaron para riego forestal 1000 m³ de efluente tratado por día durante 100 días, lo que dio un total de 100.000 m³. Con ello, prácticamente no se emitieron efluentes al curso superficial en un período crítico de estiaje. Además, se recuperaron nutrientes por un total de 37 kg de fósforo por hectárea por mes y 330 kg de nitrógeno por hectárea por mes.

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para el trabajo se estudiaron tres alternativas de solución, en las que el tratamiento se realiza por medio de lagunas de estabilización a través de un tratamiento biológico de las aguas residuales. El objetivo de este tipo de tratamientos es estabilizar la materia orgánica principalmente soluble y coloidal, en algunos casos, se aplica también para la conversión biológica de nutrientes. Los procesos biológicos se realizan principalmente por bacterias que utilizan las aguas residuales para convertir la materia orgánica coloidal o disuelta, contenida en ellas, en energía, nuevos compuestos y productos de desecho que pueden incluir gases y lodos.

Es importante notar que, a menos que el tejido celular producido sea separado del agua, no se alcanzará el tratamiento completo ya que éste es también materia orgánica y es medido como demanda bioquímica de oxígeno. Así, si los lodos no son removidos, el único tratamiento que se habrá logrado es el asociado con la conversión bacteriana de la materia orgánica en energía y subproductos gaseosos.

Las lagunas de estabilización pueden clasificarse de diversas formas, ya sea por:

- El tipo de la reacción biológica predominante
- La duración y frecuencia de la descarga
- La extensión de la laguna
- La presencia o ausencia de equipo de aireación y
- El tipo de células presentes

La forma más adecuada de clasificar a las lagunas es en función de la reacción biológica dominante. La estabilización de la materia orgánica se realiza ya sea mediante microorganismos que la metabolizan en presencia de oxígeno (aerobios), o bien, por microorganismos fermentativos que lo hacen en ausencia de oxígeno (anaerobios).

Figura 6. Esquema de sistemas de tratamiento en lagunas de estabilización.

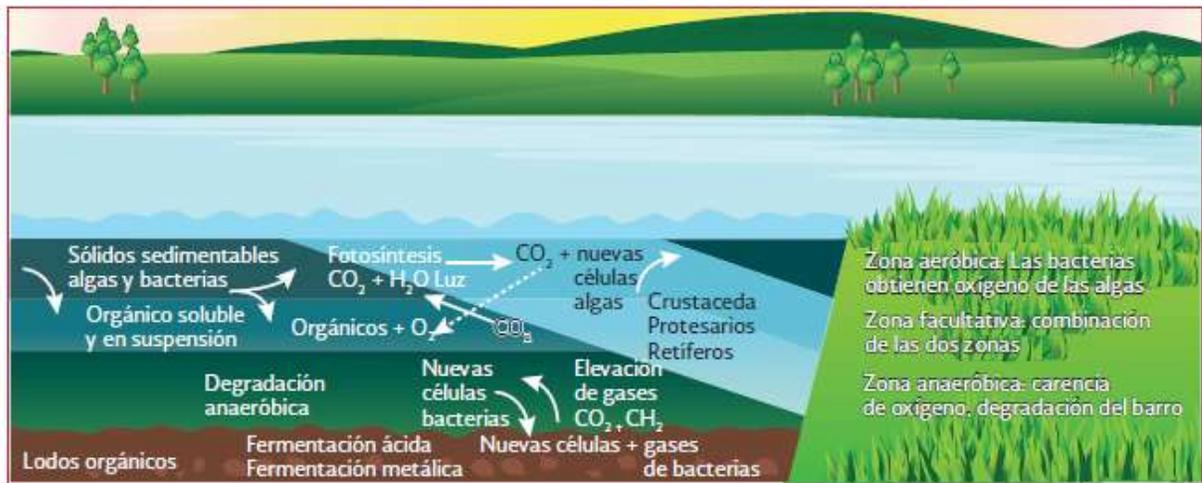


Figura 6. Esquema de sistemas de tratamiento en lagunas de estabilización. Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.

Punto de vuelco

Para las tres alternativas previstas, se realizará total o parcialmente el vuelco en el río Gualeguaychú (dependiendo de la alternativa seleccionada), como está previsto en el proyecto de ampliación citado en los antecedentes.

El vuelco se realizará mediante el escurrimiento por gravedad de los líquidos tratados hacia el río Gualeguaychú a través de conductos cerrados y enterrados. Dicho punto ha resultado seleccionado luego de haber sido evaluadas las condiciones hidrogeológicas del río Gualeguaychú junto con la identificación de los aportes de orígenes antrópicos, ya existentes sobre la margen del río, dados por los vuelcos referidos a las descargas de la planta de tratamiento de efluentes domiciliarios de Gualeguaychú y los aportes provenientes de la depuración de los efluentes provenientes del parque industrial de la misma ciudad.

A continuación se detallan el punto de vuelco en la siguiente figura 7.



Figura 7. Punto de vuelco en río Gualaguaychú.

Alternativa 1: lagunas de aireación, sedimentación vuelco en río Gualaguaychú.

Instalación de equipos de aireación mecánica: Una vez eliminado las capas de lodos en el fondo de las lagunas primarias (actualmente con diseño de lagunas de estabilización anaeróbica), las mismas conformaran una configuración de lagunas de mezcla completa mediante la instalación de equipos de aireación mecánica superficial. Este aporte brindara el oxígeno necesario para el desarrollo de microorganismos aeróbicos encargados de depurar la materia orgánica biodegradable. Luego, el líquido seguirá a una laguna de sedimentación facultativa (actuales).

Una laguna aireada consiste en un gran reactor aerobio agitado, similar a una laguna facultativa, pero con la diferencia de que se mejora la oxigenación natural. Mediante aireadores mecánicos se suministra oxígeno y se mantiene a los organismos aerobios en suspensión y mezclados con el agua para alcanzar una elevada tasa de degradación orgánica. Ya que se mejora la oxigenación natural, las lagunas aireadas pueden ser más profundas, reduciendo la demanda de superficie, y se adaptan mejor a climas más fríos. El efluente puede servir para recarga de

acuíferos, pero el lodo generado demanda un tratamiento adicional o un correcto vertido o destino final.

Incrementar la mezcla y la aireación mediante equipos mecánicos implica que estas lagunas pueden ser más profundas y tolerar cargas orgánicas mayores en comparación con lagunas facultativas. El incremento de aireación sirve para aumentar la degradación. Y como el oxígeno se introduce por medios mecánicos, ya no se depende de la fotosíntesis, pueden funcionar adecuadamente en latitudes con pocas horas de luz solar. La aireación mecánica mejora la eficiencia del tratamiento y reduce el tiempo de retención hidráulica (TRH) necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica (Rose 1999, citada por U.S. EPA 2011). En su caso, esto también incrementa la reducción de patógenos debido al efecto positivo del nivel de oxígeno sobre la desinfección del agua mediante la luz solar (Curtis et al. 1992). Por su menor necesidad de superficie es recomendable tanto en áreas rurales como zonas de la periferia urbana (Tilley et al. 2014). Pero, el uso de equipos mecánicos de aireación incrementa la complejidad del sistema y demanda energía y personal técnico (Arthur 1983).

Las lagunas aireadas son adecuadas para aglomeraciones pequeñas e industrias. Han sido usadas para tratar agua residual urbana (bruta, pre tratada o decantada), así como para tratar aguas residuales industriales biodegradables fuertemente cargadas.

Una laguna aireada mecánicamente puede tratar eficientemente un afluente concentrado y reducir significativamente el nivel de patógenos. Requiere que el suministro eléctrico sea ininterrumpido y que el recambio o sustitución de partes esté disponible para evitar periodos largos con el sistema fuera de servicio que podría llevar a que la laguna entre en anaerobiosis.

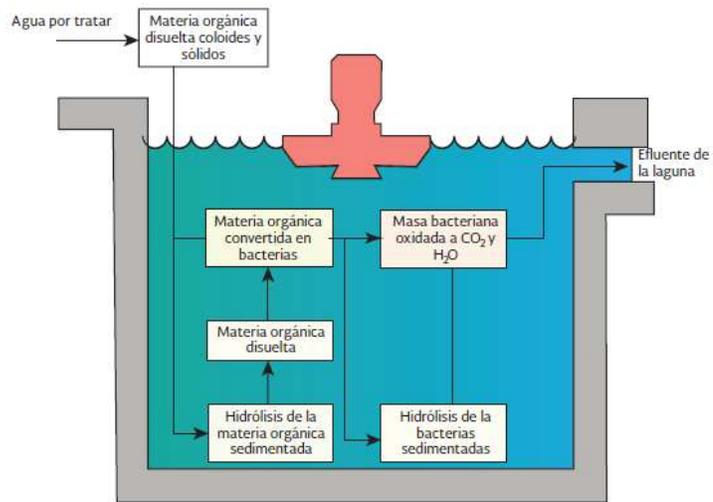


Figura 8. Laguna aireada típica. Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.



Figura 9. Laguna aireada. Fuente: google.



Figura 10. Laguna de mezcla completa aireada – laguna de decantación. Fuente: Von Sperling (1996).

Ventajas

- Resistencia a sobre cargas orgánicas e hidráulicas
- Elevada reducción de DBO y de patógenos
- Sin problema significativo por insectos o malos olores, si se dimensiona y explota correctamente
- Puede tratar altas cargas
- Requiere menos suelo que el lagunaje convencional natural
- El agua tratada puede reusarse (por ejemplo: si una laguna de maduración sigue a una laguna aireada de mezcla parcial) o verse (por ejemplo: si una decantación sigue a una laguna aireada de mezcla completa)

Desventajas

- Requiere una superficie extensa de suelo
- Se requiere una fuente estable de energía eléctrica, y tiene elevado consumo de energía
- Los costes de capital y explotación podrían ser elevados, dependiendo del precio del suelo y de la energía
- Personal cualificado para la explotación y mantenimiento
- Quizá no todos los materiales y partes estén disponibles localmente
- Requiere un diseño y construcción dirigidas por expertos
- El lodo, y quizá el agua tratada, pueden requerir tratamiento adicional y/o un vertido final adecuado

Alternativa 2: Ampliación de las lagunas de estabilización, vuelco en río Gualeguaychú.

Para esta alternativa, se plantea ampliar el sistema de lagunas, agregando un tren de lagunas de maduración – oxidación, aumentando el tiempo de residencia en las lagunas y mejorando la eficiencia de las mismas. Estas deberán tener ser de gran extensión para poder cumplir con los parámetros de vuelco establecidos por la normativa vigente (Decreto 2.235/02), con el punto de vuelco actual, se deberá cumplir con valores de DBO₅ de < 30 mg/l, en cambio, si se el destino final es el río Gualeguaychú, los valores aceptables serán de < 50 mg/l DBO₅.

A continuación, se describen las etapas del sistema de tratamiento:

- **Lagunas anaerobias** son lagunas profundas (de 2,5 a 5 m) que trabajan con cargas orgánicas altas, lo que no permite la presencia de oxígeno en el líquido. Además, encabeza el sistema de lagunas y es allí donde se da la mayor sedimentación de los sólidos arrastrados en el líquido residual. El dimensionamiento de estos estanques se realiza con criterios de tiempo de retención o de cargas orgánicas volumétricas (mayormente se utiliza este último). La velocidad de remoción de materia orgánica depende fuertemente de la temperatura, siendo prácticamente insignificante a temperaturas menores de 10°C. De todas maneras, aun a estas temperaturas, la disminución de la carga orgánica que trae el líquido residual se producirá a causa de la sedimentación de los sólidos.

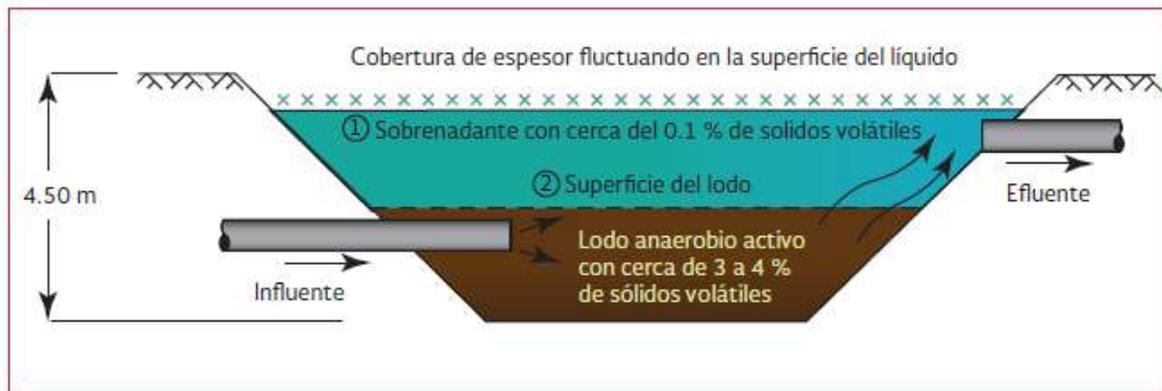


Figura 11. Laguna anaeróbica típica. Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.

- **Lagunas facultativas** tienen profundidades que varían entre 1 y 2,5m, con áreas relativamente grandes. La materia orgánica contenida en los desechos se estabiliza a través de la acción de bacterias y algas, con la influencia de la luz solar y la fotosíntesis. Son llamadas facultativas debido a las condiciones aerobias mantenidas en la superficie y a las condiciones anaerobias mantenidas en la parte inferior, donde la materia orgánica sedimenta. Este tipo de lagunas se pueden diseñar en base a modelos de reactores (mezcla completa, flujo pistón o flujo disperso, siendo el más utilizado éste último) o en base a modelos empíricos de carga superficial máxima aplicada.

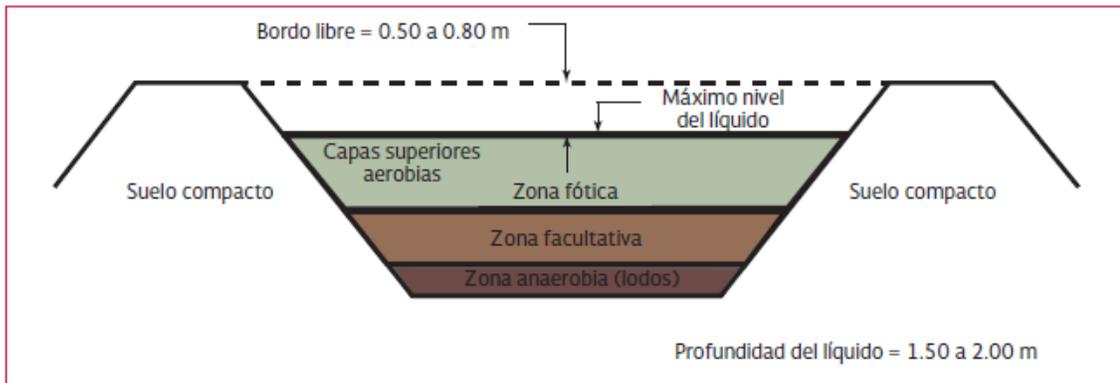


Figura 12. Laguna facultativa típica. Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.

- **Lagunas de maduración.** Tienen la principal finalidad de reducir los Coliformes fecales (CF) contenidos en las aguas residuales. Con el adecuado dimensionamiento pueden conseguirse remociones de Coliformes fecales mayores a 99.9%. La desinfección de las aguas residuales es uno de los objetivos de los sistemas de tratamiento, lo que incluye la destrucción de patógenos, virus, parásitos y demás microorganismos perjudiciales para la salud. Las lagunas de estabilización en serie proveen un medio de remoción natural de organismos Coliformes fecales para satisfacer la necesidad de desinfección de los líquidos sanitarios. También, se utilizan para nitrificar efluentes.

En la figura 13 a continuación, se describe el sistema de dos trenes de lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración en serie propuesto.

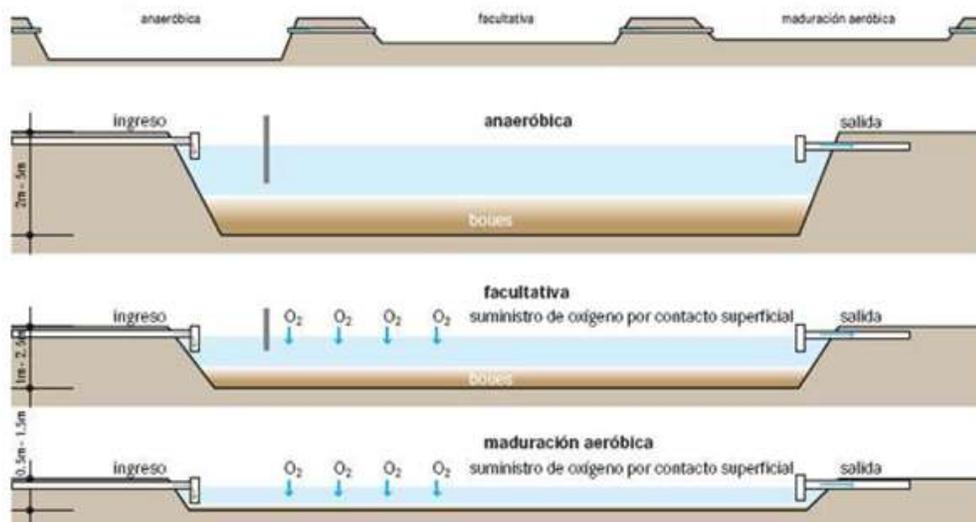


Figura 13. Esquema típico de un tren de lagunas de estabilización. Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/belen-sanchez-baeza/procesos-extensivos-depuracion-natural-al-alcance-todos-tipos-ventajas-e>

Las ventajas y desventajas de este sistema de tratamiento en la alternativa 2 y 3 son las mismas, ya que en ambas se propone la construcción de lagunas de estabilización (anaeróbicas, facultativas y maduración – oxidación).

Generalmente los objetivos del tratamiento por este sistema son:

- La remoción de la materia orgánica contaminante de las aguas residuales.
- La eliminación de microorganismos que representen un peligro para la salud.
- Reutilizar el efluente para otras finalidades, como el riego por ejemplo.

Dentro de las principales ventajas de este sistema encontramos:

- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- Bajo consumo energético.
- Simpleza en la construcción y operación.
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Elevada estabilización de la materia orgánica.
- Producen un efluente de buena calidad, con una muy buena reducción de microorganismos.
- Ausencia de equipamientos mecánicos.
- Satisfactoria resistencia a las variaciones de carga.
- Remoción de barro mayor a los 10 años.

Las principales desventajas del sistema son:

- Elevado requerimiento de terreno.
- Poca capacidad de control.
- Generación de posibles olores (es necesario ubicarlas en lugares apartados de la población).
- Posible proliferación de insectos.
- Dificultad de satisfacer niveles de vuelco demasiado restrictivos.
- La simplicidad operativa puede traer aparejado el descuido del mantenimiento de las instalaciones (ej.: crecimiento de vegetación).
- Comportamiento variable con las condiciones atmosféricas.

Alternativa 3: construcción de laguna de maduración, vuelco al río Gualeguaychú riego forestal.

Construir una laguna de maduración de dimensiones reducidas con el objetivo de pulir el efluente final y que actuará como reservorio de agua para alimentar el sistema de irrigación de un área forestal. Para el desarrollo de esta alternativa se deberá adquirir un terreno de 32 ha para poder regar con el 100% de los efluentes generados en un período de diseño de 20 años.

Para este caso, sólo se volcará efluente al río Gualeguaychú en los primeros años de implantación (1 a 3 años), o en casos de que haya excedentes de efluentes, este último caso será considerado como un caso extraordinario y no como una constante.

A las ventajas y desventajas descritas del sistema de tratamiento a través de lagunas, se les suma la implementación de filtros verdes – riego forestal.

Un filtro verde se define como un sistema natural de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo, constituido por una superficie de terreno sobre la que se establecen una o varias especies vegetales y a la que se aplica periódicamente el agua residual a tratar mediante algún método de riego.

Entre las especies vegetales que pueden establecerse en un filtro verde están los cultivos agrícolas, forrajeros y forestales, siendo estos últimos los que presentan las mayores ventajas en relación con otros cultivos, ya sea como sistema de depuración o como una forma de eliminar las aguas residuales, aprovechando esta y los nutrientes que contiene.

El tratamiento del agua residual en un filtro verde, se consigue mediante procesos físicos, químicos y biológicos naturales que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua - cultivo; siendo capaces de eliminar, hasta cierto puntocasi todos los contaminantes del agua residual como: sólidos suspendidos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, elementos traza y microorganismos, alcanzando rendimientos de depuración de hasta un 98% en los primeros centímetros del suelo.

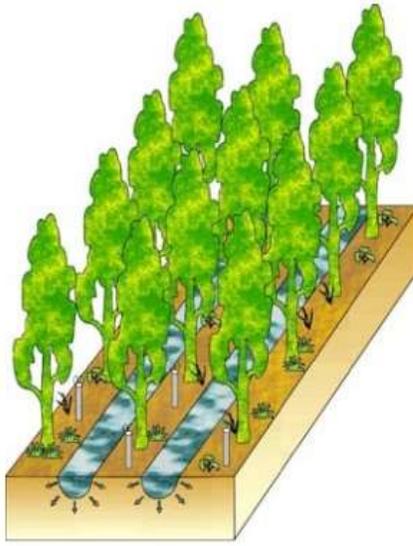


Figura 14. Filtro verde a través de riego forestal con surco. Fuente: De Bustamante et al., 2001 y 2009.

Ventajas y limitaciones de la aplicación en zonas forestales:

Existe un buen número de razones para considerar las áreas forestales como posibles candidatos para el tratamiento y reúso de residuales. Entre las ventajas que pueden considerarse están:

- En la mayoría de las áreas forestales, la productividad se encuentra limitada por la deficiencia de nutrientes que son encontrados en las aguas residuales.
- Disminuye el riesgo de exposición de personas a elementos que pueden ser peligrosos en los alimentos.
- Para casi todas las especies de árboles la aplicación de residuos favorece la germinación sin tener efectos adversos sobre estas.
- Disminuye el nivel de pre tratamiento requerido.
- Elevada eficiencia de tratamiento para casi todos los constituyentes del agua residual.
- Generación de productos comerciables.

Aún cuando estas ventajas justifican ampliamente el uso de zonas forestales, también existen restricciones o riesgos que deben tomarse en cuenta como son:

- Pueden crearse conflictos con el uso tradicional de los terrenos forestales, especialmente los que involucran la recreación.

- Generalmente las zonas forestales se establecen sobre terrenos con mayores pendientes, lo cual puede provocar el arrastre de contaminantes.
- Mayor riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

MATRIZ DE DECISIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la elección de la alternativa se realizó una matriz, en la cual se tenía en cuenta distintos factores y se valoraron en una escala del 1 al 10, siendo el que más puntos obtenga en la suma de cada factor, la alternativa a optar para desarrollar.

FACTOR	Alternativa 1: lagunas de aireación, sedimentación y vuelco en río Gualeguaychú	Alternativa 2: Ampliación de las lagunas de estabilización, vuelco en río Gualeguaychú	Alternativa 3: construcción de laguna de maduración, vuelco a río Gualeguaychú, riego forestal
<i>Beneficio Ambiental</i>	8	7	8
<i>Beneficio Social</i>	8	8	8
<i>Costo Inicial</i>	6	4	7
<i>Disponibilidad / efectividad</i>	7	4	8
<i>Costo mantenimiento</i>	5	8	8
<i>Costo operación</i>	4	8	9
<i>Aspecto legal</i>	8	7	8
<i>Incremento de personal</i>	4	8	7
TOTAL	50	54	63

De acuerdo al desarrollo de la matriz, se selecciona la alternativa N° 3: construcción de laguna de maduración, vuelco a río Gualeguaychú y Riego Forestal para ser desarrollada en el presente trabajo.

DESARROLLO DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

Clima

El área de proyecto, como todo el centro y sur de la provincia de Entre Ríos, se halla bajo la influencia del clima templado húmedo de llanura (también conocido como templado pampeano). Las variables que definen el clima presentan valores medios típicos de los climas templados.

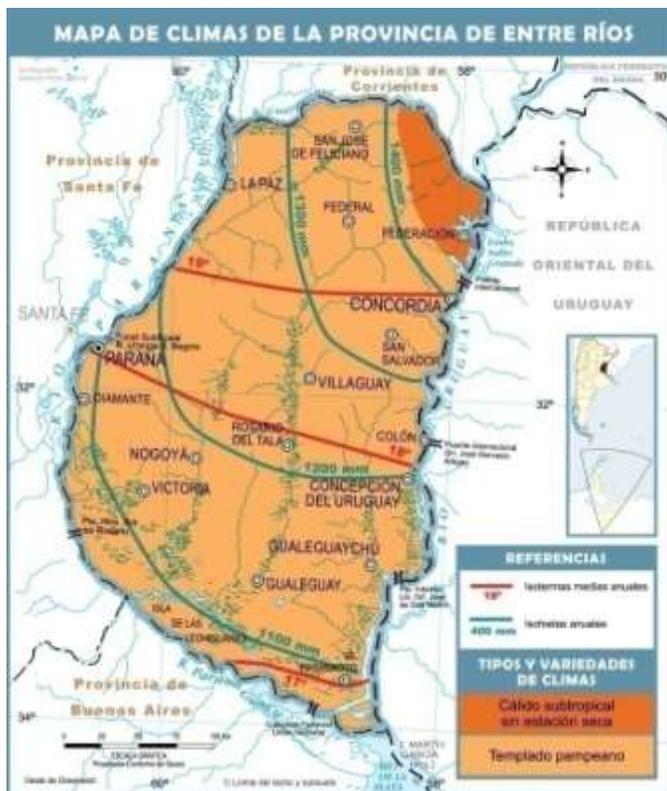


Figura 15. Mapa de climas de la provincia de Entre Ríos. Fuente: Ministerio de Educación, Presidencia de la Nación.

Pueblo General Belgrano se encuentra en la zona entre las isotermas medias anuales de 17°C y 18°C. La temperatura media en el mes más cálido es de 25.5°C, y de 10.6 °C en el mes más frío (Figura 2). Según la clasificación climática de Köppen, la Provincia de Entre Ríos pertenece a la Unidad climática del tipo Cfa, donde (C) se refiere a clima templado, (f) sin estación seca, es decir, lluvias uniformes durante todo el año, (a) con verano caluroso.

En cuanto a precipitaciones, Pueblo General Belgrano se encuentra entre las isohietas de 1100 y 1200 mmanuales.

En la figura 3 a continuación, se puede ver un climograma obtenido de la estación meteorológica más próxima, en la localidad de Gualeguaychú.

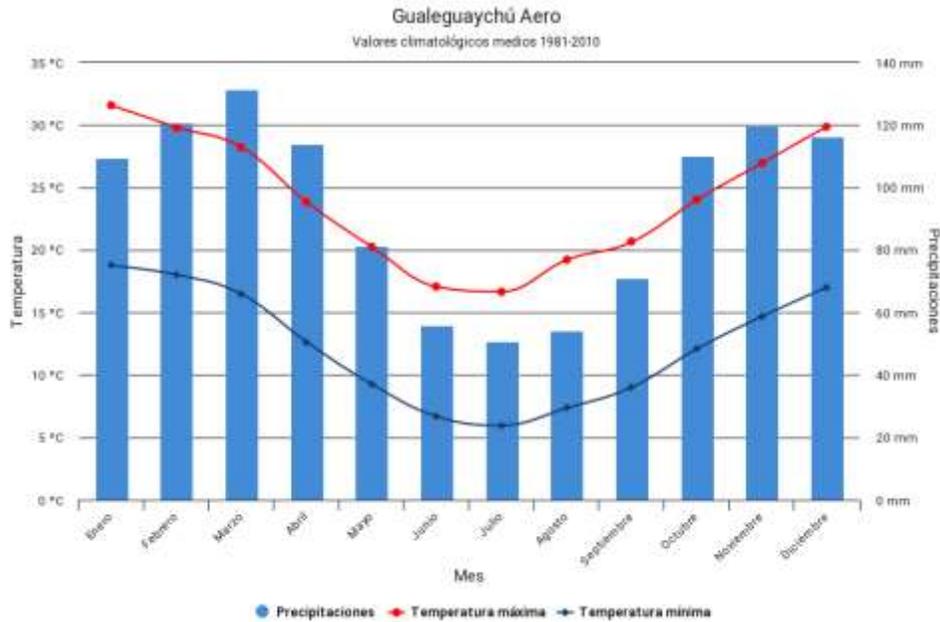


Figura 16. Climograma de la ciudad de Gualeguaychú. Fuente: Servicio meteorológico Nacional.

Vientos

Incidencia de los vientos del Noreste, Este y Sudeste, dan lugar a lluvias, lloviznas intermitentes, cielo cubierto y aire saturado de humedad, registrándose un marcado predominio de vientos del NE durante todo el año a una velocidad promedio de 13 km/h.



Figura 17. Dirección de vientos. Fuente: Informe de Consultora Ceamse-Incociv.

El gráfico anterior fue realizado utilizando los datos brindados por el Servicio Meteorológico Nacional para el periodo de 2001-2010 con las frecuencias de direcciones anuales en escala de 1000 y en km/h.

Humedad relativa

La humedad relativa media anual para toda la provincia de Entre Ríos supera el umbral del 65%. Su distribución espacial es inversa a la temperatura media, menor en el norte y superior en el sur. Desde noviembre a febrero inclusive los promedios mensuales se ubican, en casi toda la geografía entrerriana, entre el 60 y 70%. En los meses restantes del año, el promedio mensual supera en todas las localidades el 70%; a junio y julio les corresponden los valores más altos de la región.

Fisiografía

El paisaje predominante es la peniplanicies onduladas y en menor medida suavemente onduladas. Esta cubierta por materiales de origen eólico de moderado a escaso espesor. La peniplanicie presenta pendientes moderadamente pronunciadas (2-4%) y de menor intensidad (0,5-1%). En la región centro norte se encuentran las estribaciones finales de la Cuchilla Grande, mostrando su parte más elevada. En la región sur, el paisaje se suaviza presentando una planicie muy suavemente ondulada que se extiende hacia el este. Otro paisaje característico lo constituyen los depósitos sedimentarios de los arroyos y en el sur las llanuras aluviales antiguas, pobremente drenadas e intercalados con suelos alcalinos.

Suelos

En la provincia de Entre Ríos existen cinco órdenes distribuidos en diferentes áreas del territorio geográfico. En la figura 18 a continuación, se puede observar un mapa de los tipos de suelos en la provincia de Entre Ríos.

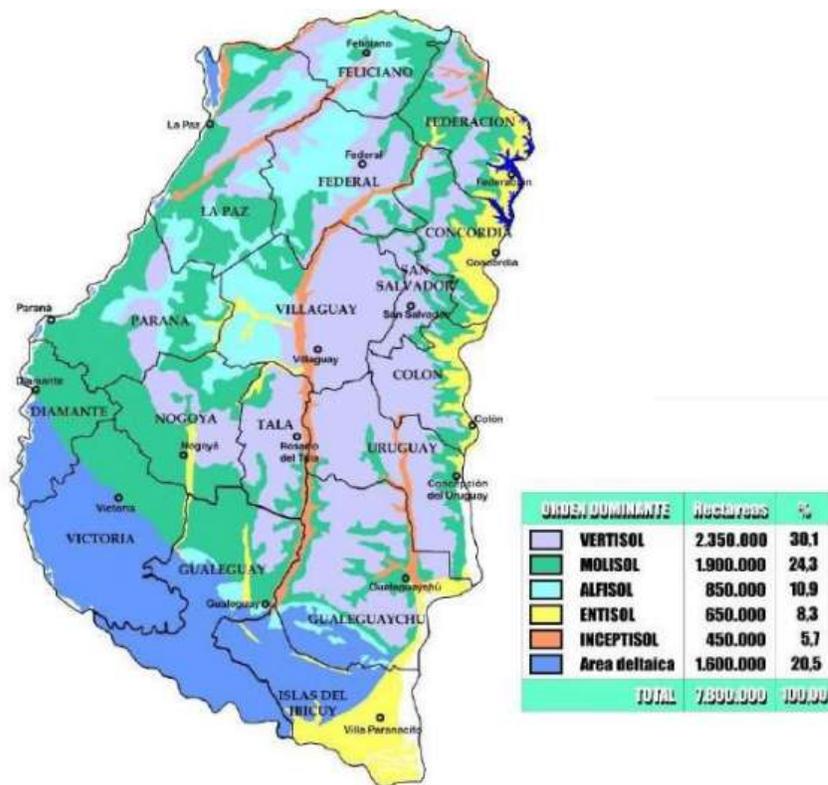


Figura 18. Mapa de suelos de la provincia de Entre Ríos. Fuente: estación meteorológica de Entre Ríos.

Los suelos predominantes son los Vertisoles seguidos por los Alfisoles, representando el 33% y el 32% respectivamente. Los Molisoles ocupan el 19% de la superficie y el resto se dividen entre Entisoles e Inceptisoles. Los suelos Vertisoles y Alfisoles se encuentran sobre las zonas planas, mientras que en los pies de lomas y sectores cóncavos se presentan los Molisoles. Se encuentra afectada por procesos erosivos. Abarcan la mayor parte de la provincia. Son suelos negros muy oscuros difíciles de trabajar tienen un elevado porcentaje de arcilla expansiva. Son aptos para el cultivo de lino, sorgo, girasol al sudeste y para la ganadería al norte. En el noreste el uso agrícola predominante es arroz. La capa fértil es muy delgada por la erosión natural y por el mal uso lo que hace aparecer arcilla.

Población actual y futura

Para este caso, se utilizó una tasa de crecimiento medio anual constante. En el tabla 2, se puede apreciar la proyección de la población en el período de diseño.

Fórmulas:

$$i = (P2/P1)^{1/(T2-T1)} - 1$$

$$Pn = Po * (1+i)^n$$

En donde:

- i** = tasa de crecimiento media anual intercensal
- P2** = Población del Censo 2
- P1** = Población del Censo 1
- T2**= Fecha del Censo 2
- T1**= Fecha del Censo 1
- Pn**= Población en el año **n**
- Po**= Población en el último censo
- n**= Cantidad de años del último censo hasta iniciar / finalizar el proyecto

Población Censo:	2001	1352	Habitantes		
Población Censo:	2010	2179	Habitantes		
Tasa de crecimiento anual:		0,0545	Media anual intercensal		
Año de inicio del proyecto:	2019				
n= años entre 2010 y inicio	9			Año	2029
Población al año de diseño:		3512	Habitantes		5968
Año de fin del proyecto:	2040				
n= años entre 2010 y diseño	30	30	Años		
Población al año de diseño:		10695	Habitantes		

Caudales

Para los caudales del agua residual a conducir y depurar se tuvieron en cuenta los períodos de arranque de las bombas de impulsión del sistema cloacal, además se sumaron los complejos turísticos. Se utilizaron los datos registrados por la Cooperativa en los últimos años.

La estimación de los caudales es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones para su recogida, tratamiento y evacuación. De cara a la obtención de un diseño adecuado a las necesidades coyunturales fue preciso conocer datos fiables sobre los caudales que se quiere tratar.

En la Tabla 3 se pueden observar las estimaciones de caudal para el período de diseño del sistema de tratamiento.

Tabla 3. Proyecciones de caudales de acuerdo a los años de duración del proyecto de tratamiento de efluentes de Pueblo Belgrano.

PROYECCIÓN 2019 -2039

Parámetro	Unidad	Año 2019	Año 2029	Año 2039
Número de años		0	10	20
Población	(hab)	3512	5968	10695
V_u - Vuelco unitarios diarios	(L/hab/d)	200	200	200
Cobertura del servicio	%	70,00	90,00	100,00
Población servida	(hab)	2458	5371	10695
Q_c - caudal medio diario	(m ³ /d)	492	1074	2139
a_1 - coeficiente máximo diario		1,30	1,30	1,30
Q_d - caudal máximo diario	(m ³ /d)	639	1397	2781
a_2 - coeficiente máximo horario		1,50	1,50	1,50
Q_e - caudal máximo horario	(m ³ /d)	738	1611	3209
	(L/s)	9	19	37
$Q_{punta.h}$ Caudal punta horario	(m ³ /h)	31	67	134
Camiones atmosféricos	(m ³ /d)	48		
TOTAL		540		

Descripción del sistema actual de tratamiento de efluentes líquidos cloacales

El actual sistema de tratamiento de efluentes líquidos cloacales se puede resumir en la siguiente Figura 19.

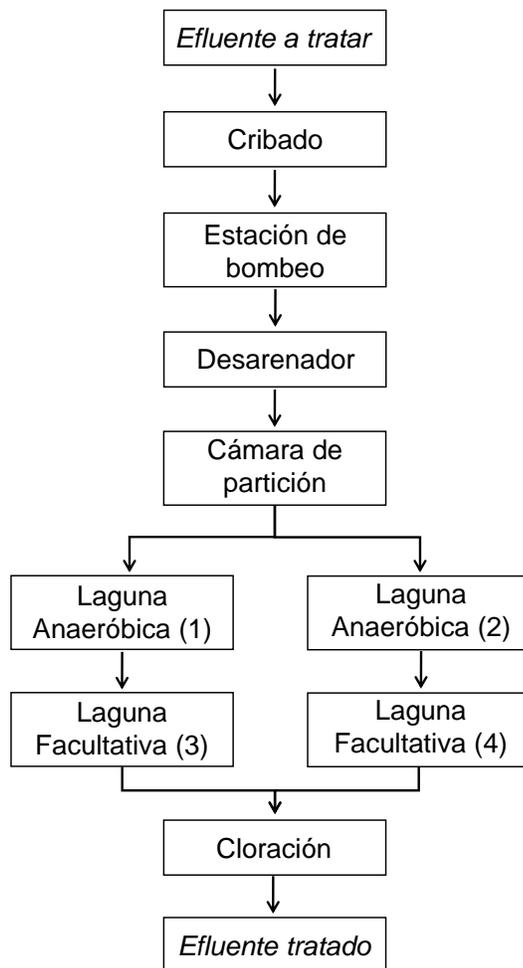


Figura 19. Diagrama de flujo del actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo Belgrano.

Al ser dos trenes de lagunas en paralelo, el caudal que se utiliza corresponde a la mitad del caudal total generado, es decir $270 \text{ m}^3/\text{d}$, según valores de Tabla 3 y Ecuación 1.

$$Q_{\text{ingreso}} = \frac{Q}{2} = \frac{540 \text{ m}^3/\text{d}}{2} = 270 \text{ m}^3/\text{d} \quad \text{Ecuación 1}$$

Estudio de batimetría

Se realizó un estudio de batimetría donde se midieron los niveles de las cuatro lagunas, cuyas mediciones se hicieron con una regla graduada desde un bote y las profundidades se han tomado hasta el pelo de agua de cada laguna. De acuerdo a los planos de diseño, se puede

estimar el volumen de agua actual y la cantidad de barros en el fondo de la laguna; resultando un volumen aproximado de 2.400 m³ de lodos.

Evidentemente la capacidad operativa de las lagunas se encuentra notablemente disminuida por la cantidad de lodos existentes en el fondo de las lagunas. Lo que denota una falta total de mantenimiento desde que las mismas se pusieron en marcha. Para ello hay que proceder a retirar gran parte de los lodos de fondo.

Verificación del funcionamiento actual de las lagunas

Lagunas anaeróbicas

Los parámetros considerados para la verificación del dimensionamiento son los sugeridos por el Banco Mundial y los Criterios de Diseño del ex Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento, hoy ENOHS (Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento):

- Tiempo de permanencia hidráulica (t): entre 4 y 6 días.
- Carga orgánica superficial (COS): entre 1.000 y 2.000 kg DBO/ha*día
- Carga orgánica volumétrica (COV): entre 30 y 80 kg DBO/1.000m³*día

Estos criterios de diseño han sido aplicados con éxito en distintas latitudes de nuestra provincia y bajo varias condiciones de carga, por lo que se eligieron de entre las variadas alternativas de estudios y recomendaciones realizadas en todo el mundo para éstos sistemas de tratamiento.

A continuación, a modo de ejemplo se plantean los cálculos realizados para la *laguna anaeróbica 1*, los demás valores resultantes de los cálculos llevados a cabo para las otras tres lagunas se encuentran resumidos en la Tabla 6.

Carga orgánica (CO):

$$CO \left(\frac{Kg}{d} \right) = 220 \frac{g}{m^3} \times 270 \frac{m^3}{d} \times \frac{1Kg}{1.000g} = 59,41Kg/d \quad \text{Ecuación 2}$$

Carga orgánica superficial (COS):

$$\frac{CO}{A} = \frac{59,41Kg/d}{0,131Ha} \times = 453 Kg/Had \quad \text{Ecuación 3}$$

Carga orgánica volumétrica (COV):

$$\frac{CO}{V} = \frac{59,41Kg/d}{2.240m^3} \times 1000m^3 = 26,52 kg/1000m^3d \quad \text{Ecuación 4}$$

De acuerdo a los criterios del dimensionamiento del sistema, se puede apreciar que las lagunas anaeróbicas no reciben la carga orgánica mínima para cumplir con las condiciones de diseño y que su funcionamiento se produzca estrictamente de forma anaeróbica.

Tiempo de retención hidráulico (TRH)

De acuerdo a los criterios del dimensionamiento del sistema, se puede apreciar que las lagunas anaeróbicas cumplen el TRH recomendado para las lagunas anaeróbicas.

$$t_r = \frac{V}{Q} = \frac{2.240m^3}{270m^3/d} = 8,3 d \quad \text{Ecuación 5}$$

Según análisis entre lagunas, se estima una eficiencia de reducción de las lagunas del 50%.

Lagunas facultativas

Carga orgánica (CO):

$$CO \left(\frac{Kg}{d} \right) = 110 \frac{g}{m^3} \times 270 \frac{m^3}{d} \times \frac{1Kg}{1.000g} = 29,7Kg/d \quad \text{Ecuación 6}$$

Para determinar la carga orgánica superficial máxima (CSM) a aplicar en las lagunas, se utilizaron las ecuaciones de autores ampliamente reconocidos en la temática (Tabla 4).

Tabla 4. Modelos de carga superficial según diferentes autores.

MODELOS DE CARGA SUPERFICIAL			
Carga superficial máxima aplicada		Areanec (ha)	A (m2)
<i>Mc Garry y Pescod</i>	CSM (Kg/ha.d)= 188	0,16	1581
<i>Mara</i>	CSM (Kg/ha.d)= 120	0,25	2475
<i>Yañez</i>	CSM (Kg/ha.d)= 314	0,09	946
<i>Arthur</i>	CSM (Kg/ha.d)= 180	0,17	1650
<i>Cubillos</i>	CSM (Kg/ha.d)= 277	0,11	1071
<i>Gloyna</i>	CSM (Kg/ha.d)= 186	0,16	1596
<i>IMTA</i>	CSM (Kg/ha.d)= 130	0,23	2282
<i>Fotosíntesis (Rittmann y McCarty)</i>	CSM (Kg/ha.d)= 166	0,179	1789
		0,20	1963

La Carga Superficial Removida se calculó con el mismo criterio que la CSM, a partir de la misma, se estima la eficiencia de remoción (Tabla 5).

Tabla 5. Eficiencia de remoción en lagunas facultativas.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN			
Carga Superficial Removida (CSR)			
<i>Mc Garry y Pescod</i>	CSR (Kg/ha.d)=	120	Eficiencia %: 79
<i>Mara y Silva</i>	CSR (Kg/ha.d)=	122	Eficiencia %: 80
<i>Yañez</i>	CSR (Kg/ha.d)=	130	Eficiencia %: 86
<i>CETESB</i>	CSR (Kg/ha.d)=	148	Eficiencia %: 98
<i>Cubillos</i>	CSR (Kg/ha.d)=	127	Eficiencia %: 84
			86

En cuanto al área necesaria, se estima que se necesita un área mayor para cumplir con el vuelco por normativa. De acuerdo a esta estimación, la DBO₅ de salida, debería ser de 27 mg/l aproximadamente, valor que no se ve reflejado por los monitoreos realizados en las muestras de salida del efluente.

Tiempo de retención hidráulico (TRH):

$$t_r = \frac{V}{Q} = \frac{3.900m^3}{270m^3/d} = 14 d \quad \text{Ecuación 7}$$

El TRH varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1,5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. De acuerdo a los

cálculos realizados, el TRH de las lagunas es de 14 días aproximadamente. El valor recomendado como mínimo es 10 días, por lo que cumpliría.

Tabla 6. Características de dimensiones actuales y cargas a tener en cuenta para la verificación de diseño del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo Belgrano.

Parámetros	Laguna 1	Laguna 2	Laguna 3	Laguna 4
Ancho sup(W) m	34,00	34,00	34,00	34,00
Ancho inf (W) m	20,00	20,00	20,00	20,00
Largo sup (L) m	54,00	54,00	92,00	92,00
Largo inf (L) m	40,00	40,00	80,00	80,00
Área sup (A) m ²	1836,00	1836,00	3128,00	3128,00
Área inf (A) m ²	800,00	800,00	1600,00	1600,00
Área media	1318,00	1318,00	2364,00	2364,00
Profundidad (h) m	1,70	2,70	1,55	1,65
Volumen Total (VT) m ³	2240,60	3558,60	3664,20	3900,60
Profundidad (H) m	3,80	3,80	2,85	2,85
TRH (d)	8,3	13,2	13,6	14,5
CO Kg DBO/d	59,4	59,4	29,7	29,7
COS Kg DBO/ha*d	450,42	450,42	125,56	125,56
COV Kg DBO/1.000m ³ *d	26,50	16,68	8,10	7,61

Tasa de acumulación de lodos y períodos de extracción

Para agua residual municipal, Marais reporta tasas de acumulación de lodos de 0,03 a 0,04 m³/hab-año. Para residuos industriales estima que del 20 al 30% de la DBO en el influente es transformada en lodo. Así las lagunas anaerobias remueven el 70% de la DBO influente; 50 a 40% de la DBO removida es convertida a CO₂ y gas metano.

Del 40 a 60% de la DBO remanente es convertida a lodos. El contenido de sólidos sedimentables varía de 6 a 10 % debido a la compactación. El desazolve es más frecuente en este tipo de lagunas que en las facultativas, por ello se diseña una zona profunda de 2 a 4 veces el valor lateral del tanque. La digestión de los lodos está limitada al 60 % del contenido orgánico total debido al agotamiento del oxígeno contenido en las sustancias del lodo (Ouano, 1981).

El desazolve se realiza cuando la laguna está llena con lodos a la mitad de su capacidad. El tiempo de desazolve puede estimarse mediante la siguiente Ecuación 8.

$$E_{lodo} = \frac{0,5 \times V}{T_{ac} \times P} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

E_{lodo} : período de desazolve o extracción de lodo (años).

V: volumen de la laguna (m^3)

T_{ac} : tasa de acumulación de lodos ($m^3/hab \cdot año$)

P: población (hab).

Nota: se toman 5.000 habitantes, estimación de 10 años de diseño.

En climas tropicales la acumulación del lodo en las lagunas anaerobias es muy rápida (2 a 5 años) y su tasa varía de 0,03 a 0,04 $m^3/hab \cdot año$, Mara (1976). La limpieza deberá ser realizada cuando el volumen de lodo corresponde a la mitad del volumen de la laguna; esto ocurre cada n años, donde n es calculado por la Ecuación 9.

$$n = \frac{A \times h}{2 \times K_{lodo} \times P} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

n : período de limpieza (años).

A: área media de la laguna (m^2).

K_{lodo} : tasa de acumulación de lodos ($m^3/hab \cdot año$)

P: población contribuyente (hab).

IMTA (1994), considera que las lagunas anaerobias requieren dragarse cuando un tercio de su volumen está ocupado por lodos, por lo que la Ecuación 9 se cambia por la Ecuación 10.

$$n = \frac{A \times h}{3 \times K_{lodo} \times P} \quad \text{Ecuación 10}$$

En cuanto a la extracción de lodos de las lagunas facultativas, la tasa de acumulación de lodos es prácticamente la misma que la adoptada para las lagunas anaerobias. Gloyna (1971), afirma que su variación está comprendida entre 0,03 y 0,05 $m^3/hab \cdot año$. La disminución de la profundidad de las lagunas facultativas es de aproximadamente 30 cm cada 25 o 30 años. La acumulación del lodo es debido a la materia orgánica digerida y a la arena que no es retenida por

los desarenadores durante el tratamiento preliminar. Según Arceivala (1981), la arena constituye aproximadamente 50% del lodo total que se acumula en las lagunas.

Los resultados del cálculo de período de limpieza en años de las lagunas se resumen en la Tabla 7 a continuación.

Tabla 7. Estimaciones de los períodos de limpieza de barros de las lagunas de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo Belgrano.

<i>Cálculo de período de limpieza en Años de las lagunas</i>				
	<i>Laguna 1</i>	<i>Laguna 2</i>	<i>Laguna 3</i>	<i>Laguna 4</i>
<i>Tasa de acumulación de lodos K_{lodos} (m³/hab.año)</i>	0,04	0,04	0,04	0,04
<i>Volumen (m³)</i>	3954,00	3954,00	4728,00	4728,00
<i>Población servida (Hab)</i>	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00
<i>Ecuación 8 (años)</i>	9,89	9,89	11,82	11,82
<i>Ecuación 9 Mendoca (años)</i>	9,89	9,89	11,82	11,82
<i>Ecuación 10 IMTA (años)</i>	6,59	6,59	7,88	7,88

Es importante aclarar que estas ecuaciones están referenciadas cuándo existe un sistema de tratamiento primario para la contención de sólidos. Como se puede observar, mediante los cálculos realizados se estima que, en caso de que funcione el sistema de desbaste y desarenado, el período de limpieza se realizará aproximadamente cada 10 años.

Construcción de laguna de maduración

Construir una laguna de maduración – oxidación con el objetivo de pulir el efluente final y que actuará como reservorio de agua para alimentar el sistema de irrigación de un área forestal.

En la Tabla 8 a continuación, se detallan los aspectos constructivos de la laguna de maduración a construir.

<i>TRH (d)</i>	3	<i>Volumen teorico (m³)</i>	1619,04	
<i>Ha</i>	0,16	<i>Area media teorica (m²)</i>	1619,04	
<i>altura H/2=</i>	1,00			
<i>Pendiente talud i =</i>	2	<i>Relación Largo - Ancho 6-1</i>	17,99	w
<i>Revanca del tirante (m)</i>	0,8		89,97	L
		<i>Ancho sup (m)</i>	19,99	w
		<i>Largo sup (m)</i>	91,97	L
		<i>Area superior (m²)</i>	1838,98	
		<i>Ancho inf (m)</i>	15,99	w
		<i>Largo inf (m)</i>	87,97	L
		<i>Area inferior (m²)</i>	1407,10	

<i>Ancho coronamiento (m)</i>	23,19	<i>w</i>
<i>Largo coronamiento (m)</i>	95,17	<i>L</i>
<i>Area coronamiento (m²)</i>	2207,51	
<i>Volumen real (m³)</i>	1618,23	
<i>TRH real (d)</i>	3,00	

En la figura 20 a continuación, se puede observar la ubicación de la laguna de maduración a construir.



Figura 20.Recuadro de color celeste, futura laguna de maduración - oxidación.

Filtro Verde – Riego Forestal.

Las cloacas para la recolección de las aguas residuales urbanas con los sistemas de tratamientos, que reducen su carga orgánica, han sido las formas convencionales de purificar el agua. El agua residual tratada puede ser descargada en el ambiente si cumple con ciertos estándares de calidad.

Por ejemplo, en la provincia de Entre Ríos el Decreto 2235/02 establece que el agua residual tratada no puede contener más de: 50 mg/l de DBO₅ para la descarga en curso de agua superficial

y < 30 mg/l de DBO₅ para la descarga a cuerpos de agua no permanentes. En cambio, la Resolución 554/15, fija valores, máximos de vertido de 150 mg/l de DBO₅.

Más recientemente, han aparecido tecnologías que reutilizan el agua tratada para generar productos útiles para la sociedad (e.g. Chu et al., 2004, Bixio et al., 2006). En Argentina, existe un creciente número de proyectos desarrollados y en desarrollo, en especial en las ciudades de Mendoza, San Rafael y en localidades de La Pampa, que utilizan aguas residuales urbanas tratadas para la producción forestal, agrícola, y hortícola (Fasciolo et al., 2002, Gil et al., 2005). Existe una rama importante de la ciencia que estudian cómo mejorar la reutilización de las aguas tratadas, los potenciales de producción, calidad de productos, efectos fertilizantes, (Crespi et al., 2012, Crespi et al., 2007, Chu et al., 2004, Bixio et al., 2006) considerando la condiciones sanitarias, productivas y ambientales. En tanto, otros autores han estudiado las características del servicio ambiental que brinda la reutilización del agua tratada, que además de producir un producto comercial (p.e. madera), reducen el nivel de contaminación del agua descargada al ambiente. De hecho, la reutilización del agua tratada y su utilización en el sistema suelo-biota-cultivo es equivalente a un tratamiento terciario que permite la depuración del agua (e.g. Gil et al., 2005, Ko et al., 2004).

Aspectos a tener en cuenta para el diseño del proyecto:

- ✚ Evaluación y selección del emplazamiento.
- ✚ Selección del cultivo.
- ✚ Necesidades de pretratamiento.
- ✚ Método de distribución.
- ✚ Balance Hídrico.
- ✚ Balance económico.
- ✚ Beneficios ambientales

La evaluación y selección del emplazamiento está entre las características más importantes a tener en cuenta, siendo los factores limitantes la permeabilidad y la profundidad de las aguas subterráneas. Se puede decir que el suelo presenta condiciones óptimas cuando: el pH está entre 5,5 y 8,4, la conductividad eléctrica es menor de 4 mmhos/cm, la permeabilidad está entre 5 y 50 mm/h, las aguas subterráneas se encuentran a profundidades entre 0,6 y 1,5 m y pendientes entre el 2 y el 15 % en terrenos cultivados, en terrenos no cultivados pueden ser superiores.

Para el emplazamiento de las áreas forestales, se tendrá en cuenta la resolución 554/15 de la provincia, donde en sus anexos I se explicitan los límites de emisión para riego forestal de las actividades productivas industrial y/o de servicio y en el anexo II, se dan las pautas una línea de base y plan de monitoreo para la actividad.

La selección del cultivo es otro paso fundamental en el proceso de diseño ya que muchas de las decisiones asociadas con el proyecto estarán en función del tipo de cultivo; siendo los más adecuados los que presentan una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínimas necesidades de control (Ou, Ziqing, et al. 1997).

Los contaminantes pesados u otros de alta movilidad y de fácil percolación son captados más eficientemente por los árboles que por otros cultivos, porque poseen sistemas radiculares de grandes dimensiones, que ingresan profundamente en el suelo y son de instalación permanente, constituyendo así verdaderos e inimitables filtros biológicos de máxima eficacia. (Proyecto Fadel S.A.).

Para el proyecto se seleccionó las especies de Eucalyptus (*grandis. ssp*), Sauces (*salix. ssp*) y Álamos (*Populus x canadensis "Conti 12"*). En el caso de los Sauces y Álamos, estos se caracterizan por dar madera, fibra, biocombustible y otros productos forestales y desempeñan un papel positivo en la rehabilitación de tierras degradadas, la restauración de paisajes forestales, la mitigación del cambio climático y el sustento de las poblaciones en las regiones templadas y boreales del mundo. Debido a estas características particulares de estas especies, se plantea un área de sauces destinada para disponer los barros generados por el sistema de tratamiento, un problema actual ya mencionado con anterioridad.

El Eucalyptus es elegido para el trabajo ya que es una especie de alta productividad, crecimiento inicial rápido y por su amplia tolerancia ambiental. Pueden tener alta tasa de crecimiento y de consumo de agua y adaptarse a condiciones más severas que en su distribución natural. (Florence. 1996).

Dickmann (2006) define a los cultivos de forestales en cortas rotaciones (SRF) como: “un sistema silvicultural con cortos ciclos, generalmente de uno a quince años, al que se aplican técnicas culturales intensivas como fertilización, irrigación y control de malezas y que utiliza

material vegetal genéticamente superior de especies forestales con alta capacidad de regeneración por rebrotes de cepa”.

La biomasa proveniente de forestaciones en alta densidad de plantación y en cortas rotaciones es un recurso renovable que puede ser destinado a la producción de energía; en la productividad de su cultivo influyen factores como las características genéticas de la especie, las condiciones climáticas y edáficas del sitio y la presencia o no de riego (Perez S. et. al, 2013).

El agua es un recurso escaso por lo que es necesario conocer los requerimientos de riego en cultivos de alta densidad de plantación, a fin de maximizar la eficiencia en el uso de la misma y la productividad de estos sistemas, promoviendo el uso sustentable del recurso (Perez S. et. al, 2013).

Las necesidades de pretratamiento, se deben considerar como un proceso unitario a combinar con otros procesos para conseguir un sistema de tratamiento completo. Este se hace necesario por razones relacionadas con la protección de la salud pública, el control de las condiciones desagradables, las limitaciones de los sistemas de distribución, la reducción de la presencia de constituyentes limitantes y aspectos relacionados con el terreno y los cultivos. El nivel de pretratamiento puede variar desde el tratamiento primario hasta el avanzado, en dependencia del objetivo final del sistema (tratamiento o reúso) y de las razones antes mencionadas.

En las áreas forestales los niveles de pretratamiento se pueden reducir al mínimo considerando que las cosechas no serán consumidas por humanos y que el grado de contacto con el residual solo involucra a operadores (siempre que el sistema no se establezca con fines recreativos), de hecho algunos sistemas en áreas forestales han sido regados con residual crudo.

El método de distribución del agua residual se selecciona en las primeras etapas del diseño preliminar, ya que la eficiencia de aplicación del sistema de distribución constituye un parámetro importante en las necesidades totales de agua de riego.

Los métodos de aplicación pueden ser: por aspersión, riego superficial y por goteo, utilizando uno u otro en dependencia de que las condiciones para su uso sean adecuadas o no y de la eficiencia de aplicación. Para el desarrollo del presente proyecto, se optó por el riego por surcos, donde el efluente fluye por gravedad a través de los surcos, desde los cuales se infiltra en el

terreno. Generalmente, el agua se aplica a los surcos utilizando una tubería provista de una serie de orificios, o mediante sifones conectados a una acequia (Metcall& Eddy. 1996). Además esta opción busca la evaporación de la mayor cantidad de agua residual posible.

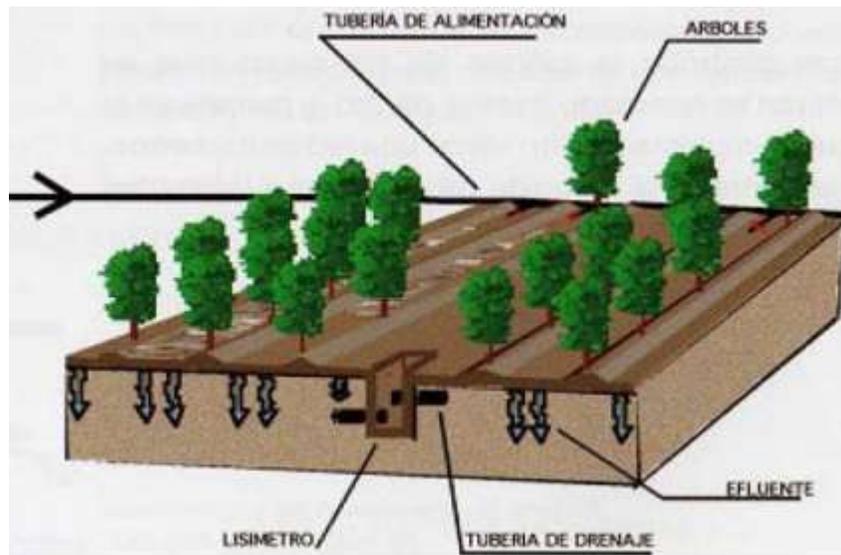


Figura 21. Esquema de Filtro Verde (Depuración de Aguas residuales por medio de filtros verdes – Mañueco / Narváez).



Figura 22. Riego agrícola por surco. Fuente: Gabriela Alemanno. Agencia de Extensión Rural Belén. INTA Catamarca. 2014.

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

Se puede definir a la Evaporación como el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la Figura 23 se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

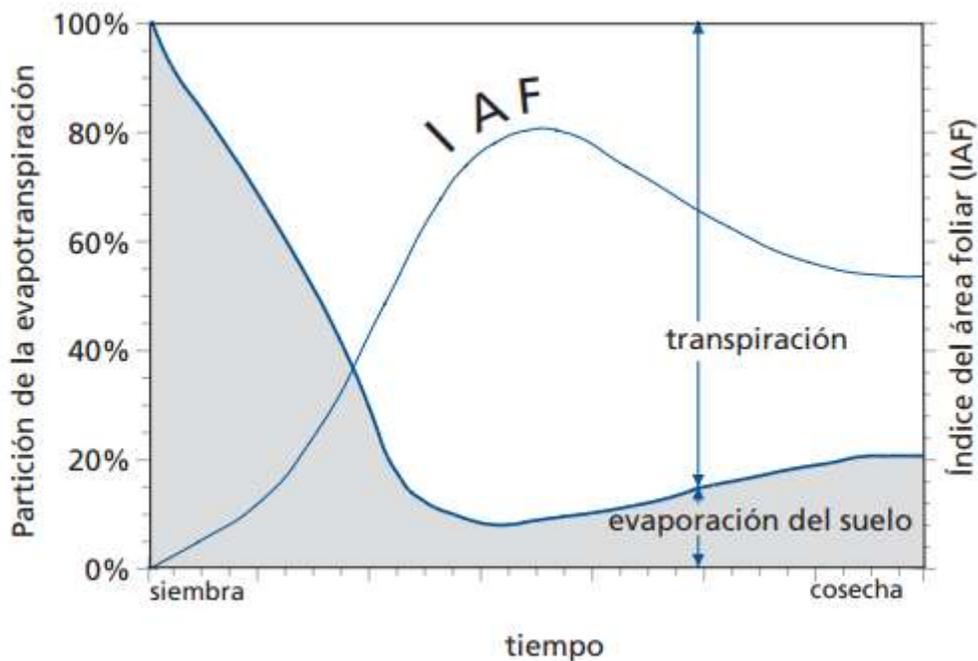


Figura 23. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el período de crecimiento de un cultivo anual. Fuente: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO.

Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son: la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

Además, hay otros factores del cultivo que influyen como: el tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas. Las diferencias en resistencia a la transpiración, la altura del cultivo, la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET en diversos tipos de cultivos aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas.

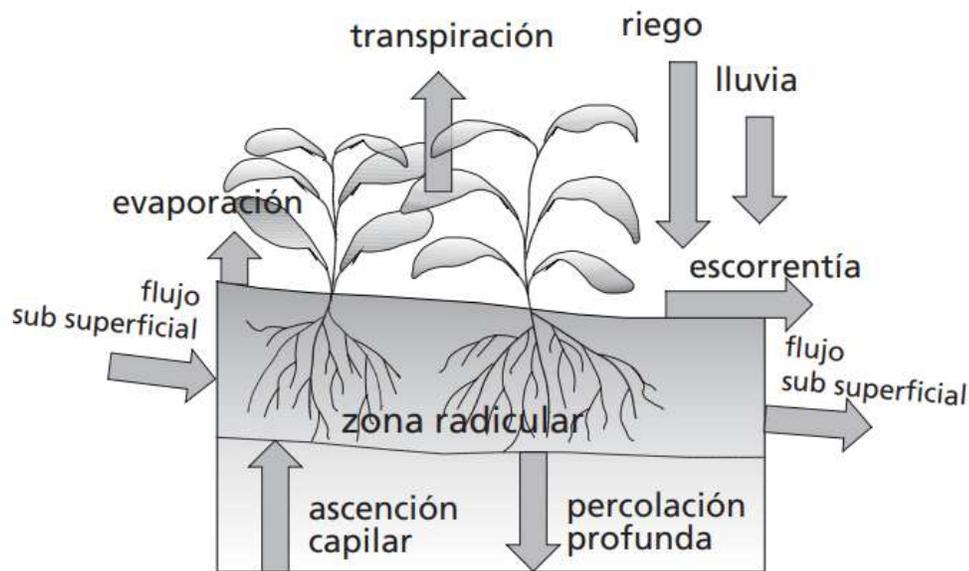


Figura 24. Balance de agua en el suelo de la zona radicular. Fuente: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO.

Balance hídrico:

A continuación, se describen las formas de cálculo del balance hídrico de acuerdo a los estudios analizados y experiencias de la zona.

En la actualidad el sistema lagunar recibe un efluente de $540 \text{ m}^3/\text{día} = 194.284 \text{ m}^3$ teóricos/año, que luego de ser tratado por este, el agua residual, con características aptas para el riego forestal, llega al sistema de surcos de riego mediante bombeo.

Se considera que la pérdida de volúmenes por efecto del trasegado, bombeo, de la aireación, tránsito lento y en especial a la gran y prolongada exposición al viento y a los rayos solares en un diseño de lagunas poco profundas y de gran superficie relativa, es del orden del 25%, es decir que dispondremos para el bombeo a riego de aprox. 147.737 m^3 finales por año.

Tanto los álamos como los eucaliptus con densidades de 833 plantas en secano con una dotación de lluvia de $11.000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ cuya eficacia productiva se considera del 60%, representan unos $6600 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ para el área del proyecto. Esta pérdida es debida a que las precipitaciones que alcanzan el dosel de un bosque o plantación forestal cambian cualitativa y cuantitativamente al ingresar al ecosistema. La redistribución de las precipitaciones bajo la cubierta arbórea está relacionada con las características de las lluvias, la estructura del dosel, la

topografía, las características climáticas y con el manejo del bosque (Mischerlicht, 1971 en Oyarzún et al., 1985).

Cuando una cierta cantidad de agua se pone en contacto con las copas de los árboles o dosel forestal, una fracción de ella vuelve a la atmósfera mediante evaporación. De la restante, la mayor parte llega al piso forestal directamente, o bien luego de impactar en el follaje y las ramas, constituyendo ambas fracciones la trascolación (T) o throughfall. La parte restante de la fracción interceptada por el follaje escurre por ramas y troncos conformando el flujo caular (FC) o stemflow. La suma de T y FC dan lugar a laprecipitación neta que alcanza la superficie del terreno (Zinke, 1967). Parte del agua que llega al suelo se infiltra en él, parte puede escurrir superficialmente y otra evaporarse desde el suelo. El agua que infiltró en el suelo puede ser retenida hasta cierta cantidad máxima actuando la fuerza de la gravedad (capacidad de campo); el excedente percola eventualmente hasta la napa freática o si encuentra una capa impermeable de material parental drena como flujo lateral o subsuperficial (Bruijnzeel, 1997). El régimen de precipitaciones puede, ante eventos de diferente intensidad, determinar que el agua infiltrada alcance o no los horizontes profundos, la capacidad de campo o excesos de agua que, dependiendo de las características del suelo se movilizará vertical y/o horizontalmente en el perfil.

La carga hidráulica o dotación de riego es el volumen de agua residual aplicada por unidad de área de terreno en un determinado período de tiempo (normalmente, semanal, mensual o anual). Este es el parámetro básico en el diseño y operación del sistema y puede ser determinado basado en el requerimiento de agua del cultivo, en la capacidad de asimilación hidráulica y en la capacidad de asimilación de constituyentes del sistema suelo-planta para asegurar que éste no sea degradado (Ou, Ziqing, et al. 1997). Para este trabajo se tomó una carga hidráulica de 20.000 m³/ha/año, basado en el análisis de diferentes autores, estudios y casos similares al proyecto.

Es decir que, con densidades de 833 árboles/ha podremos descargar unos 20.000 m³/ha/año que bien administrados por el sistema de acequias podrán duplicar la superficie foliar, el sistema radicular y en especial una continuidad ininterrumpida en la función fotosintética. La captación de energía y nutrientes y evitar así estrés temporario, sequía estacional, marchitez temporaria o defoliación parcial que afectan seriamente el crecimiento y la producción del macizo forestal (Proyecto Fadel S.A.).

Otro aspecto importante a considerar es que después de la cosecha y durante los años iniciales de la plantación forestal, aumenta la escorrentía porque en estos periodos la pérdida por intercepción así como la evapotranspiración son menores respecto a una plantación adulta, debido al estado de desarrollo inicial del bosque hasta su cierre de dosel. (Vertessy, R.A.; Watson, F.G.R.; O'Sullivan, S.K.2001; Bren, L. J., Lane, P. and McGuire, D. 2006; Oyarzún, C. y Huber, A. 1999; Scott, D. F., and F. W. Prinsloo 2008; O'Loughlin, E. and Nambiar, E. K. S. 2001).

Entonces, la carga hidráulica total, se podrá aplicar a partir del 4 y 5 verde (se toma como un verde cada vez que rebrotan las hojas en especies caducas), mientras que entre el 2 y 3 año es la mitad, debido al incipiente desarrollo de las plantas.

A continuación, se detallan en las siguientes tablas la carga hidráulica, el agua disponible para riego, la evapotranspiración anual y el agua requerida para riego.

Caudal de aguas residuales (m³/año)			
<i>Período de diseño</i>	<i>Diario</i>	<i>Real</i>	<i>Anual</i>
<i>Actual</i>	540	405	147737
<i>10 años</i>	1074	806	294008
<i>20 años</i>	2139	1604	585551

Tabla 9. Caudal disponible para riego.

Agua aportada por precipitaciones (m³/ha/año)	
<i>Precipitaciones anuales (mm/año)</i>	1100
<i>Precipitaciones anuales (m³/ha/año)</i>	11000
<i>Total - Pérdidas del 40 % (m³/ha/año)</i>	6600

Tabla 9. Agua aportada por precipitaciones.

	Altura de agua	volumen por unidad de área		energía por unidad de área *
	mm día⁻¹	m³ ha⁻¹ día⁻¹	l s⁻¹ ha⁻¹	MJ m⁻² día⁻¹
1 mm día ⁻¹	1	10	0,116	2,45
1 m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹	0,1	1	0,012	0,245
1 l s ⁻¹ ha ⁻¹	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ m ⁻² día ⁻¹	0,408	4,082	0,047	1

* Para el agua con una densidad de 1 000 kilogramos m⁻³ y a 20 °C.

Tabla 10. Factores de conversión para expresar evapotranspiración. Fuente: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO.

Área total a forestar (ha)

Período de diseño	Caudal (m³/año)	Aporte precipitaciones (m³/año)	Agua disponible para Riego (m³/año)	Ha Necesarias
Actual	147737	48753	196491	10
10 años	294008	97022	391030	20
20 años	585551	48753	634305	32

Tabla 11. Área total a forestar.

Cálculo de la evapotranspiración.

De acuerdo a los antecedentes y estudios realizados, se puede tomar el criterio que un árbol de rango forestal adulto puede evapotranspirar unos 200 l. de agua en un día soleado. Con las densidades proyectadas de 833 árbol/ha y tomando valores medios por densidad/edad/ tamaño, podemos estimar un gasto diario de 135 l/día.

Teniendo en cuenta que hay un promedio de 220 días activos en el año y que de las 26.654 plantas instaladas 14.161 son latifoliadas (con dormancia invernal) y el resto son perennifolias, estimamos el siguiente gasto anual:

Por planta 135l/día/planta x 220 días = 29.7 m³/planta/año

Para el macizo forestal: 8.342 pl. X 29.7 m³/año = 247.401 m³/año

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

<i>ET árbol adulto (l/d)</i>	200
<i>ET árbol medio (l/d)</i>	135
<i>Densidad de árboles (árbol/ha)</i>	833
<i>Días sin precipitaciones al año</i>	220
<i>Gasto por árbol (m³/árbol/año)</i>	29,7
<i>Cantidad de árboles Etapa 1 (árbol/ha)</i>	8330
<i>Cantidad de árboles Etapa 2 (árbol/ha)</i>	16660
<i>Cantidad de árboles Etapa 3 (árbol/ha)</i>	26656
<i>Gasto para Etapa 1 Ha (m³/año)</i>	247401
<i>Gasto para Etapa 2 Ha (m³/año)</i>	494802
<i>Gasto para Etapa 3 Ha (m³/año)</i>	791683

Tabla 12. Evapotranspiración del cultivo.

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración de un campo cultivado, se define como requerimiento de agua del cultivo. Aunque los valores para ETc (evapotranspiración del cultivo) y requerimiento de agua del cultivo son idénticos, el requerimiento de agua del cultivo se refiere a la cantidad de agua que necesita ser suplida, mientras que la ETc se refiere a la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración. El requerimiento de agua de riego generalmente, se refiere a la diferencia entre el requerimiento del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego, también incluye agua adicional para el lavado de sales y para la compensación por la no uniformidad de la aplicación del agua.

Requerimiento de agua de riego (m³/año)	
Actual	198648
10 años	397780
20 años	742930

Tabla 13.Requerimiento de agua del cultivo.

De acuerdo a la última tabla, se puede apreciar que la cantidad de agua disponible para riego es prácticamente igual que el requerimiento de agua por parte de la forestación. Es por eso que se puede inferir que el área forestal es la apropiada y se mantendrá un equilibrio entre la demanda y el agua residual efluente.

Identificación de las áreas forestales

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente, se estima que será necesario un área de 32 ha para el vuelco de la totalidad de efluentes en un período de diseño de 20 años. A continuación, se plantea realizar las forestaciones en 3 etapas:

- I. Etapa 1: caudal actual aproximado de 14.7737 m³/año, realizando riego a 10 ha. Ver figura 25, área 1.
- II. Etapa 2: se ampliará la zona de riego, con un caudal aproximado de 294.007 m³/año, en un área de 10 ha. Total: 20 ha. Ver figura 25, área 2.
- III. Etapa 3: se ampliará una vez más para alcanzar el caudal máximo siendo de 585.551 m³/año en 12 ha. Total: 32 ha. Ver figura 25, área 3.



Figura 25. Recuadro de color amarillo, marcados con color naranja las Etapas 1, 2 y 3 a forestar para aplicar el agua residual tratada.

Construcción de surcos de riego:

La distancia entre surco será de 4 m. Es por eso que en una parcela de 1 ha, se podrán construir 25 surcos de 100 m lineales (promedio), totalizando 2.500 m lineales de surcos. Teniendo en cuenta que se pueden descargar alrededor de 100 l/m lineal de efluente, se podrán descargar alrededor de 2,5 m³/surco, equivalentes a 62,5 m³/ha, totalizando 625 m³ (Etapa 1), 1.250 m³ (Etapa 2) y 2.000 m³ (Etapa 3).

Preparación de terreno a forestar:

- Sacar los árboles, arbustos y malezas indeseables.
- Sistematización del terreno (mejoramiento del drenaje natural como mínimo).
- Pasadas cruzadas con rastra de discos para romper el suelo.
- Construcción de canales con surcador.
- Mantenimiento de canales con rabasto.

La mayoría de estas tareas se pueden realizar con un tractor y un enganche de tres puntos hidráulico.



Figura 26. Tractor con enganche de 3 puntos.



Figura 27. Trabajos en capo con rastra de discos.

Plantación:

- Comúnmente con estacas o guías, las reposiciones con guías o barbados al primer año.

Densidades:

- Dependen del objetivo productivo y de si se prevé la realización de raleos. Para este caso se decidió por una densidad de 833 árboles/ha. Donde se planta a una distancia entre árboles de 3,4 m y entre surco de 4 m.

Tratamientos intermedios:

- Control de malezas durante los primeros dos años (desmalezados manuales con azada, machete o mecánicos con motoguadaña, rastra de discos; con herbicidas.
- Control de plagas animales: las plagas más importantes son las hormigas.

Sistema de impulsión - conducción.

El sistema de bombeo será el encargado de impulsar el agua residual hasta el área a forestar. Estará ubicado en la laguna de maduración y estará compuesto por: una bomba, caño chupador y filtro, la toma será móvil, pudiendo seleccionar la opción de un pontón flotante. La cañería de distribución hasta las parcelas a forestar será de PVC y una vez en los diferentes lotes se disponen de un sistema hidráulico que contemple posibilidades de ampliación y de sectorización de los

turnos de riego. En cada surco se hace un inserto a la cañería de conducción con una llave que permite regular el caudal ingresante.

Durante el 1° año no se podrá regar con agua residual, es decir, se deberá regar con agua de perforación o superficial por medio de cisterna móvil (figura 28), para lograr la adaptación y prendimiento de las plantas. Se podrá dar inicio al riego con efluente tratado a partir del 2° verde, es decir a partir del 2° año de implantada la parcela.



Figura 28. Riego de campo con cisterna móvil.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que se las especies latifoliadas (álamos y sauces) estarán inactivas (dormancia) durante los meses de invierno, es decir, que la cantidad de efluente regado en el mazgo forestal deberá tener en cuenta esta situación.

Cantidad y distribución de árboles.

En la tabla 13 se resumen la cantidad de árboles a plantar, las áreas de cada especie.

TOTAL de Árboles a Plantar - Densidad 833 árboles/ha

Especie	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Área (ha)	N°	Área (ha)	N°	Área (ha)	N°
Sauces (<i>salix. ssp</i>)	2	1666	2	1666	2	1666
Álamos (<i>Populus x canadensisconti 12</i>)	3	2499	3	2499	5	4165
Eucalyptus (<i>grandys.ssp</i>)	5	4165	5	4165	5	4165
Total	10	8330	10	8330	12	9996
TOTAL	26656					

En las siguientes figuras, se puede apreciar una posible distribución de las parcelas a forestar con las especies seleccionadas.



Figura 29. Recuadro de color rosa, Sauces; recuadro de color naranja, Álamos; recuadro de color verde, Eucalyptus.



Figura 30. Plantación de Álamos. Fuente: Fadel S.A.



Figura 31. Plantación de álamos (*populus spp.*) irrigada con agua tratada proveniente de efluentes domiciliarios en la provincia de Mendoza.



Figuras 32 y 33. Plantación de Eucalyptus regada con aguas residuales domiciliarias. EDAR Villa Nueva, Córdoba.

Beneficios Ambientales

Captación de gases y emisión de oxígeno

Las especies vegetales, como los árboles, son ideales para absorber CO₂, principal causante de las emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI). Las plantas absorben dióxido de carbono (CO₂) gracias a la fotosíntesis, proceso por el que este gas queda fijado en sus raíces, tronco y hojas en forma de carbono, y además, también captan CO₂ durante su respiración, que convierten en oxígeno, que es liberado en la atmósfera.

Un árbol o un conjunto de árboles con 1.000 m² de superficie foliar en un día soleado producen 10 kg de materia orgánica para lo que usan 9.000 l. de anhídrido carbónico y evaporan 200 l de agua y liberan a la atmósfera 9.000 l. del vital oxígeno, cantidad necesaria para la respiración diaria de 10 hombres. Las altas densidades de 833 plantas por ha. en álamos y pinos en un damero muy experimentado de cuatro metros entre líneas constituye un muy buen corredor de aire y por ende de captación de CO₂ en gran escala por la fácil renovación de la masa atmosférica disponible. Por día y por hectárea se liberan 180.000 litros de oxígeno que es la cantidad necesaria para 200 personas, mientras que se capturan 180.000 litros de anhídrido carbónico CO₂. (Bergara. TFI Especialización en Ingeniería Ambiental.2019.).

Tomando como base estos datos, se puede estimar:

- Etapa 1: $180 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día CO}_2 \times 10 \text{ Ha} = 1.800 \text{ m}^3/\text{día}$
- Etapa 2: $180 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día CO}_2 \times 10 \text{ Ha} = 1.800 \text{ m}^3/\text{día}$
- Etapa 3: $180 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{día CO}_2 \times 12 \text{ Ha} = 2.160 \text{ m}^3/\text{día}$
- TOTAL: $5760 \text{ m}^3/\text{día CO}_2$

Otros estudios estiman que un árbol maduro puede absorber dióxido de carbono a un ritmo de 21,7 kg por año. Un árbol de 30 metros de altura y 45 cm de diámetro en su base produce 2.722 kg de oxígeno. Y según los cálculos aproximados han llegado a que se requieren entre 20 a 22 árboles para suplir la demanda de oxígeno de una persona al día. Y 0,41 hectáreas con árboles (1 hectárea equivale a 10.000 metros cuadrados, digamos una manzana urbana), produce suficiente oxígeno al día para 18 personas (Gaytan Ruiz. et, al. 2018).

Un trabajo determinó la capacidad de fijación de las plantaciones forestales desarrolladas con especies cultivadas de eucaliptos, pinos y álamos en Argentina. El Balance final de fijación de CO_2 es mayor para los eucaliptos (43,58 t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{año}$), seguido por los álamos (41,28 t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{año}$). En referencia a los pinos es el más bajo (25,23 t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{año}$), pero hay que tener en cuenta que el crecimiento y la rotación varían mucho dependiendo la zona. (Carlos A. Norverto).

Beneficios económicos

La madera proveniente de forestaciones en alta densidad de plantación y en cortas rotaciones es un recurso renovable que puede ser destinado a la producción de energía.

Países del norte y centro de Europa están utilizando biomasa forestal para proveer de electricidad y calefacción a distintas ciudades y pueblos (Gasol et al, 2009). Suecia posee 16.000 ha cultivadas con especies forestales en cortas rotaciones (Christersson et al, 2006) y la biomasa obtenida provee del 20 % de la energía que consume el país (Helby et al, 2006), como energía calórica (Perez S. et. al, 2013).

En Mendoza, Argentina, Calderón et al (2004) destacan la buena adaptación de las Salicáceas a las condiciones ecológicas de Cuyo por lo que podrían constituirse en una seria alternativa para la producción de biomasa con destino energético. Bustamante et al (2009) obtuvieron los primeros resultados de producción de biomasa para dos clones de *Populus.spp* en densidades de plantación 10.000 y 20.000 plantas por ha y esperan alcanzar rendimientos de 40

tn.ha-1.año-1 en el caso de Populus x canadensis 'Conti 12' (comunic. personal, 2009) (Perez S. et. al, 2013).

También es posible utilizar toda la biomasa generada en el emprendimiento incluyendo el material de raleo y poda como combustible en calderas para la generación de energía térmica en el proceso industrial en forma de chip o madera astillada, tecnología en franco crecimiento en la industria debido a la suba de los combustibles fósiles. Además, podrían servir para combustión de estufas a leña de menor escala tipo domiciliaria o para la producción de compost en alguna área municipal, entre otras.

De acuerdo a los antecedentes mencionados, se sabe que las especies de rápido crecimiento regadas con efluente tratado pueden aumentar alrededor de un 30% - 40% los rendimientos correspondientes a riego con aguas normales, con el beneficio que las aguas que percolan a los acuíferos quedan completamente purificadas por la eficiencia con que los sistemas radicales forestales retiran todos los nutrientes en su beneficio, incluyendo los de alta movilidad.

Además, utilizando riego con efluente tratado y con la moderna genética forestal los rendimientos pueden alcanzar los 50 m³/ha/año, y si se manejan bien los rodales en la calidad de la madera se puede lograr el mejor destino y el más rentable como, es el debobinado o el fajeado para producción de laminados. Con esta misma calidad maderable en aserrío de álamo, por ejemplo, el rendimiento industrial tendría que estar en los 47% lo que significa 23,5 m³ sólidos que se traducen en 9.964 pies² por ha/año y una acumulación de unos 90.000 pies²/ha. a la hora de la cosecha a los 10 años. El valor histórico es de U\$S 0,40 a 0,50 el pie², que representan unos U\$S 3.500/ha/año en bruto para la primera transformación (tablas). (Proyecto Fadel S.A.)

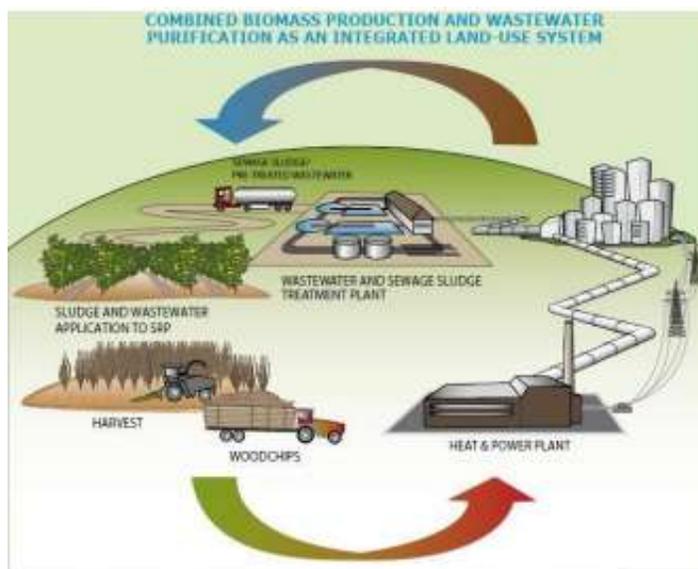


Figura 34. Producción combinada de biomasa y purificación de aguas residuales como un sistema integrado de uso de la tierra. Fuente: SSWM. 2009.

De acuerdo a datos de la provincia de Entre Ríos, para Eucalyptus, se podrán tener rendimientos algo menores al de los álamos, pero aún así, nada despreciables, alrededor de los 3000 USD/ha/año. En la figura 35 a continuación, se describe un esquema de noviembre de 2018, a un dólar oficial de 37,13\$ sin IVA.



Figura 35. Esquema de rentabilidad de Eucalyptus en la provincia de Entre Ríos. Fuente: <https://www.argentinaforestal.com/2019/02/26/especial-planilla-de-referencia-precios-forestales-de-entre-rios-nov-dic-2018/>

Posibles financiamientos:

Se podrían aprovechar las ventajas que brinda la legislación nacional, como por ejemplo, el régimen de promoción a la forestación implementado por la Ley Nacional N° 25.080 de Inversiones en Bosques Cultivados que promueve inversiones en emprendimientos forestales y foresto-industriales y contempla beneficios económicos y beneficios fiscales. Esta ley se promulgó en el año 1998 y la misma fue prorrogada por su similar Ley N° 26.432 en el año 2008, por 10 años más. En el año 2019 se sanciona la Ley N° 27.487 que prorroga y modifica la Ley Nacional N° 25.080.

Los beneficios económicos consisten en un apoyo económico no reintegrable por hectárea forestada, variable según la zona, la especie y tamaño del emprendimiento y para actividades silvícolas como poda, raleo, manejo del rebrote y enriquecimiento de bosque nativo.

Dentro de los beneficios fiscales se encuentran el de estabilidad fiscal, la devolución anticipada del impuesto al valor agregado, un régimen especial de amortizaciones para inversiones en bienes de capital, exención de impuestos patrimoniales, la exención de impuestos que graven la aprobación de estatutos, contratos, sus ampliaciones, modificaciones, etc., para la organización del emprendimiento y el avalúo de reservas. Con esta ley, desde su sanción hasta fin del año 2011, se lograron 301.600 ha de forestación con distintas especies de pinos, eucaliptos, álamos, sauces y latifoliadas varias.

Balance económico

- Costos de implantación del proyecto: contempla árboles, conducción de efluentes, equipos, laboreo de la tierra y mano de obra: U\$ 60.000
- Costos operativos: durante 10 años contempla laboreo de la tierra y mano de obra: U\$ 40.000.
- Total de costos a los 10 años: U\$ 100.000
- Rentabilidad: U\$ 35.000/año x 10 años: U\$ 350.000

Al pensar en una reutilización para riego forestal hay un retorno de U\$ 3.000/ha/año en bruto. Para 10 ha forestadas: 10 ha x U\$ 3.000 / ha año en bruto = U\$ 30.000 / año

Teniendo en cuenta que, el primer retorno económico en bruto que se da para la primer aserrada a los 10 años, de unos U\$\$ 300.000; sumándose U\$\$ 300.000 para la Etapa 2 y U\$\$ 360.000 para la Etapa 3. TotalU\$\$ 960.000

Dentro de estos costos no incluye la compra de los terrenos. Para la Etapa 1, este lugar es el ideal ya que se encuentra aledaño al actual del sistema de tratamiento, siendo el más próximo y pudiendo aprovechar el terreno plantado para la disposición de los barros cloacales.

Los valores de retorno económico son estimativos y no se está teniendo en cuenta el aporte de bio fertilizantes, que posee el efluente tratado con el cual se realiza el riego. Además si se planteara un proyecto productivo mixto tipo silvopastoril con aprovechamiento para el engorde de animales, seguramente estos valores o tasas de retorno serían más elevados, generando importantes ganancias para la cooperativa y/o el consorcio público privado que lo administre.

CONCLUSIONES

El constante aumento de la generación de aguas residuales y las necesidades de tratamiento exigen la aplicación de tecnologías que promuevan una economía circular, el aprovechamiento de los nutrientes, producción de bienes, generación de empleo, y el cumplimiento con las normativas ambientales.

En este trabajo se analizaron tres alternativas de acuerdo a factores técnicos, ambientales, sociales, económicos, entre otros, en pos de seleccionar la tecnología de tratamiento que se adecue a la realidad local con el objetivo de proponer mejoras al actual sistema de tratamiento de efluentes cloacales de Pueblo General Belgrano a fin de poder cumplir con la legislación ambiental vigente en la provincia de Entre Ríos.

Se optó por la alternativa de la construcción de una laguna de maduración – oxidación y el riego forestal del agua residual tratada. De acuerdo a los cálculos realizados, se estima que será necesario un área de 32 ha para el vuelco de la totalidad de efluentes en un período de diseño de 20 años. Si bien se deberán realizar pruebas de campo sobre los terrenos donde se desea forestar, este proyecto se considera viable para el reúso de las aguas residuales de la localidad para la producción sustentable y sostenible de una forestación de Sauces, Álamos y Eucalyptus.

Con este proyecto se obtendrán los siguientes beneficios:

- Evitará el vuelco de aguas residuales a los campos aledaños sin control.
- Posibilidad de disposición de barros cloacales en la plantación forestal. Se estima que actualmente hay un volumen importante y que está interfiriendo en el funcionamiento normal de las lagunas.
- Cumplir con la normativa ambiental vigente de la provincia de Entre Ríos.
- Alimentar cultivos que demandan gran cantidad de agua y nutrientes, evitando que sean vertidos en cuerpos de agua superficiales o en zonas no controladas (situación actual). Para este caso, sólo se volcará efluente al río Gualeguaychú en los primeros años de implantación (1 a 3 años), o en casos de que haya excedentes de efluentes, este último caso será considerado como un caso extraordinario y no como una constante.
- Beneficios ambientales a través de la fijación de GEI como el CO₂, producción de oxígeno, aumento de la biodiversidad y producen un impacto visual positivo.

- Beneficios económicos a través de la obtención de productos comerciables. La biomasa proveniente de forestaciones en alta densidad de plantación y en cortas rotaciones es un recurso renovable que puede ser destinado a la producción de energía, compostaje o productos madereros (debobinado, laminados, etcétera).

Análisis a futuro:

- Analizar la posibilidad de combinar el sistema de forestación tradicional con un proyecto productivo mixto tipo silvopastoril con aprovechamiento para el engorde de animales, teniendo la posibilidad de que los valores de tasas de retorno se incrementen.
- Posibilidad de financiamiento para llevar a cabo el proyecto, ya que existe legislación nacional que promueve la implementación de emprendimientos forestales.

Como conclusión final, se destaca que este tipo de proyectos se considera aplicable a otros municipios o juntas de gobierno que tengan características similares a la localidad de Pueblo General Belgrano, ya que como se mencionó en el diagnóstico, el correcto tratamiento y disposición de las aguas residuales cloacales es un problema actual en el territorio nacional y provincial. Además, este trabajo se suma a varios antecedentes provinciales y regionales que han tenido éxito en este tipo de sistema de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- CARLOS A. NORVERTO. La fijación de CO₂ en plantaciones forestales y en productos de madera en argentina. Disponible en: <http://www.fao.org/3/XII/0043-B2.htm>
- DORIA JOSEFINA. (2013). La reutilización de aguas residuales. Sistemas jurídicos comparados: Unión Europea, España y Argentina.
- NATALIA TESÓN. Balance hidrológico y flujo de nutrientes asociados al agua en plantaciones de Eucalyptus grandis, en Concordia, Entre Ríos. Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- El agua y las plantaciones forestales. (2015). Comité de Agua. Corporación Chilena de La Madera. Concepción, Chile.
- FAO. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- FERNANDO RAFFO. Proyecto Forestal Remediativo con Reúso de los Efluentes Tratados para Riego de Plantaciones Productivas. Empresa Fadel S.A.
- FERNANDO ÁLVAREZ VEGA. (2000). Filtros verdes. Un sistema de depuración ecológico.
- GAYTAN RUIZ ET. AL. (2018). <http://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2018/trabajos/ciencias-biologicas-quimicas-y-de-la-salud/medio-ambiente-biologia/doc21.pdf>
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización.
- Manual de Riego y Drenaje. (2012). Escuela agrícola panamericana. Carrera de ciencia y producción agropecuaria.
- METCALF & EDDY, INC. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización (Tercera Edición). Volumen I.
- PEREZ S. ET. AL. (2013). Aplicación de distintas dosis y métodos de riego en cultivo de álamos ‘Conti 12’ en alta densidad de plantación para la producción de biomasa. Trabajo realizado por la Facultad de Ciencias Agrarias con el aval del Instituto Multidisciplinario de Energía de la Universidad Nacional de Cuyo.

- ROBERTO VERGARA. (2018). Mejora del sistema de tratamiento cloacal de la ciudad de Colón, Entre Ríos. Trabajo final para la obtención del título de especialización en Ingeniería Ambiental, UTN-FRCU.
- RAFAEL FERNÁNDEZ GÓMEZ ET. AL. (2010). Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie. Consejería de Agricultura y Pesca. Servicio de Publicaciones y Divulgación, D.L. Sevilla.
- SÉRGIO ROLIM MENDONÇA. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío.

Sitios web:

- <https://www.iagua.es/blogs/belen-sanchez-baeza/procesos-extensivos-depuracion-natural-al-alcance-todos-tipos-ventajas-e>
- <https://www.argentinaforestal.com/2019/02/26/especial-planilla-de-referencia-precios-forestales-de-entre-rios-nov-dic-2018/>