



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

## INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES – TESIS DE GRADO



### ***REINGENIERÍA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOCALES.***

---

***Reingeniería de la planta de tratamiento de efluentes cloacales para cerrar el ciclo de materia con reducción del consumo de energía de la empresa embotelladora de agua Eco de los Andes, Tunuyán, Mendoza.***

***Tesista:*** Aldana J. Oyarzábal

***Directora:*** Ing. Ana Clara Longo

***Co-Director:*** Ing. Daniel Rojas

## Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b>	<b>3</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>14</b>
<b>RESULTADOS. REINGENIERÍA PLANTA DE TRATAMIENTO</b>	<b>53</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO I : PERFIL HIDRÁULICO PTEC</b>	<b>83</b>

## Resumen

Se estudia el caso particular de la embotelladora de agua mineral Eco de los Andes, ubicada en Tunuyán, Mendoza. La problemática radica en sus efluentes cloacales, que son tratados in-situ y deben adecuarse a la normativa provincial, nacional e internacional vigente. El objetivo es la reingeniería de la planta de tratamiento de efluentes cloacales para cerrar el ciclo de materia de los mismos, logrando cero residuos y la disminución de la cantidad de energía utilizada en el proceso.

Se realiza un estudio de base mediante el análisis bioclimático y geomorfológico de la zona, se hace una caracterización mediante el establecimiento de cotas, volúmen de los elementos componentes de la PTEC (Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales), nivel freático, calidad de suelo, caudal entrante de efluente, pH, perfil hidráulico y balance hídrico (de una zona propuesta para reúso agrícola). Luego, mediante un estudio de factibilidad de reúso de efluentes cloacales con planteo de alternativas se decide el tratamiento mediante aireación prolongada, sedimentación final y disposición en suelo forestado. Para ello se selecciona el método de lodos activados y disposición en A.C.R.E. (Área de cultivos especiales restringidos) en un sistema de infiltración lenta. Para el tratamiento de lodos se selecciona un sistema de filtro intermitente de arena con producción de abono orgánico para el A.C.R.E.

En base a los resultados y considerando los aspectos sociales, ambientales y económicos del caso en estudio, se concluye que la reingeniería de la planta de tratamiento de efluentes

cloacales mediante la incorporación de un A.C.R.E. y un digestor de lodos biológicos, permite el cierre del ciclo de materia y la reducción del consumo de energía utilizada en el proceso.

### **Palabras clave**

Reingeniería, tratamiento, ciclo de materia, flujo de energía, efluentes cloacales, industria.

### **Keywords**

Reengineering, treatment, matter cycle, energy flow, sewage, industry.

## **Introducción**

La generación de efluentes cloacales es una problemática que se expande a medida que lo hacen las ciudades y crece la población. Algunos de los interrogantes que surgen son: ¿Hacia dónde deben crecer las ciudades? ¿Es posible asegurar un sistema de cloacas para todos sus habitantes? ¿Es técnicamente factible para el Estado realizar el tratamiento de las aguas servidas de toda la población? ¿Son adecuados estos tratamientos y los lugares donde se realizan? Y lo más importante: ¿Qué hacemos con las aguas cloacales ya tratadas?. El mundo entero se encuentra en un punto de crisis debido a la contaminación de las fuentes de agua y a los cambios en su uso y disponibilidad. Como consecuencia, las normas hídricas y de preservación del ambiente se van haciendo cada vez más estrictas. Incluso muchas empresas privadas poseen normas internas tendientes al cuidado de los recursos naturales, generalmente mediante la certificación de normas ambientales y como parte de sus campañas

de marketing. La implementación de nuevas tecnologías acompañadas de políticas adecuadas son el camino hacia la sustentabilidad.

La crisis hídrica se ve acentuada en la Provincia de Mendoza por su carácter desértico. Si bien a través de la generación de oasis y mediante la regulación del Departamento General de Irrigación ha sido posible hasta ahora controlar el uso del agua, esta situación es incierta para un futuro próximo. Se hace necesario entonces que las empresas aumenten la eficiencia del uso del recurso hídrico no sólo disminuyendo la cantidad de agua que utilizan en sus procesos sino también cambiando la disposición final de sus efluentes. El caso en estudio resulta un ejemplo práctico de este cambio.

Este trabajo de investigación y análisis se centra en la reingeniería de la PTEC. La misma asegura el óptimo funcionamiento de cada unidad de tratamiento y también la correcta secuencia en el tren de proceso. Para ello deben completarse la sedimentación de sólidos, degradación de materia orgánica en secuencias alternadas de tratamiento aerobio y anaerobio, ciclado y supervivencia de lodos biológicos, eliminación de agentes patógenos y disposición final en zona de reúso como tratamiento terciario. Si bien existe una alta gama de posibilidades para lograr este objetivo, es imprescindible un análisis profundo y completo que tenga en cuenta no sólo las ventajas y desventajas técnicas de cada alternativa sino también los factores económicos, legales, sociales, ambientales y operacionales que conllevan. Así, con la implementación de un digester de lodos y con mínimas modificaciones al sistema de lodos activados ya existente en la planta de tratamiento se logra pasar de un flujo de materia a un ciclo cerrado de la misma.

## **Hipótesis de Trabajo**

Se presenta como hipótesis que la reingeniería de la planta de tratamiento de efluentes cloacales mediante la incorporación de un A.C.R.E. y un digestor de lodos biológicos, permite el cierre del ciclo de materia y la reducción del consumo de energía utilizada en el proceso.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Diseño del ciclo cerrado de materia de los efluentes cloacales generados en la empresa Eco de los Andes con reducción de la cantidad de energía utilizada en el proceso mediante la reingeniería de la planta existente.

### **Objetivos particulares**

- Análisis de situación actual de los efluentes generados en la Industria Eco de los Andes.
- Caracterización de efluentes cloacales mediante la estimación de diversos parámetros.
- Selección de la tecnología óptima para el tratamiento de lodos biológicos que permitan el cierre del ciclo de los efluentes cloacales.
- Ajuste y aplicación de la tecnología de tratamiento de lodos óptima para el caso Eco de los Andes.

- Determinación de una parcela con forestales para destino final de los efluentes cloacales líquidos tratados, mediante la realización de un balance hídrico.

## **Marco Teórico**

Una planta de tratamiento de efluentes es un sistema dinámico compuesto por una serie de elementos que permiten la obtención de aguas de mayor calidad. Los diferentes componentes de la planta realizan tratamientos físicos, químicos y biológicos. Estos están orientados a la separación y degradación de la materia orgánica presente en los efluentes; la disminución del contenido de sólidos no orgánicos y la eliminación de patógenos a los valores que fija la legislación.

Existen distintos tipos de plantas de tratamiento: fijas, móviles, pequeñas, medianas, grandes, más sencillas o más complejas; pero todas se diseñan en función de las características del efluente, de su volumen y del objetivo que se persiga. En regiones de agricultura regadía como la de Cuyo, se propicia la disposición final del efluente ya tratado como reúso agrícola en un A.C.R.E. ya que el vuelco a cauce público para que se mezcle con una fuente de agua receptora es resistido por los organismos de control y requiere alcanzar parámetros de calidad más exigentes.

En cualquier industria o actividad antrópica, se pueden generar tres tipos de corrientes de desechos líquidos: cloacales, industriales y pluviales. Los desechos líquidos industriales son aquellos que, como su nombre lo indica, se generan de la actividad industrial y su composición

puede ser muy variada dependiendo de su origen y de la actividad de la industria. Los efluentes pluviales (generados por las lluvias) suelen ser recolectados por separado y dispuestos en cauces aluvionales. Sin embargo es necesario tenerlos en cuenta en el diseño de cualquier planta de tratamiento; cuando existe posibilidad de mezcla con los demás efluentes o cuando se puedan producir precipitaciones torrenciales.

El tratamiento debe ser seguro y eficaz atendiendo no sólo a los requerimientos de los organismos de control sino también a las condiciones ambientales y socioculturales de la región, de manera de asegurar la calidad de vida de sus habitantes mediante el correcto acondicionamiento de las aguas para su disposición final.

La Organización Mundial de la Salud (1989, p.31), asegura que “es posible resumir el conocimiento actual sobre la supervivencia de distintos agentes patógenos en el suelo y en los cultivos en los climas cálidos (20-30 °C)” como (Cuadro 1):

AGENTE PATÓGENO	PERÍODO DE SUPERVIVENCIA	
	En el suelo	En los cultivos
<b>Virus</b> Enterovirus	<100, comúnmente <20 días	<60, comúnmente <15 días
<b>Bacterias</b> Coliformes fecales <i>Salmonella sp.</i> <i>Vibrio cholera</i>	<70, comúnmente <20 días <70, comúnmente <20 días <20, comúnmente <10 días	<30, comúnmente <15 días <30, comúnmente <15 días <5, comúnmente <2 días
<b>Protozoarios</b> Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	<20, comúnmente <10 días	<10, comúnmente <2 días
<b>Helmintos</b> Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i> Larvas de anquilostomas Huevos de <i>Taenia saginata</i> Huevos de <i>Trichuris trichiura</i>	Muchos meses <90, comúnmente <30 días Muchos meses Muchos meses	<60, comúnmente <30 días <30, comúnmente <10 días <60, comúnmente <30 días <60, comúnmente <30 días

Cuadro 1: Períodos de supervivencia de ciertos agentes patógenos excretados en el suelo y las superficies de los cultivos a 20-30°C. Fuente: Organización Mundial de la salud, 1989.

En general, los efluentes cloacales son “líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión o disuelto. Cuando son frescos su color es gris y tienen un olor no desagradable” (Falcón, 2009, p17). Flotan en ellos cantidades variables de materia: sustancias fecales, basura, papel, astillas y otros residuos. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros surgen en la superficie o en todo el líquido. Los sólidos de las aguas cloacales pueden clasificarse en dos grupos: según su composición o según su condición física.

Por su composición se clasifican en sólidos orgánicos e inorgánicos; mientras que por su condición física se pueden separar en sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos sedimentables y sólidos coloidales (Cuadro 2).

<b>Sólidos totales 600ppm</b>	Sólidos Suspendidos 200ppm	Sólidos sedimentables 120ppm	Orgánicos 90ppm Inorgánicos 30ppm	Sólidos sedimentables 120ppm	<b>Sólidos totales 600ppm</b>
	Sólidos disueltos 400ppm	Sólidos coloidales 80ppm	Orgánicos 55ppm Inorgánicos 25ppm	Sólidos coloidales 120ppm	
		Sólidos coloidales 40ppm	Orgánicos 30ppm Inorgánicos 10ppm		
		Sólidos disueltos 360ppm	Orgánicos 125ppm Inorgánicos 235ppm		

Cuadro 2: Condición física y composición de los sólidos contenidos en un agua negra doméstica media. Fuente: Falcón, 2009.

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (2009), en su Manual de tratamiento de aguas negras, “los sólidos orgánicos son todos aquellos de origen animal y vegetal,..., materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos”. Estos compuestos tienen una estructura molecular formada principalmente por Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, que pueden estar combinados con

Nitrógeno, Azufre o Fósforo formando proteínas, hidratos de carbono y grasas, junto con sus productos de descomposición. Son compuestos biodegradables por acción de bacterias y otros organismos vivos. Además son compuestos que pueden quemarse, siendo el principal producto de su combustión el biogás.

“Por sólidos inorgánicos se entienden a todas las sustancias inertes que no están sujetas a la degradación” (Falcón, 2009, p18). Son compuestos minerales como arena, grava, cieno y sales minerales provenientes del agua confiriéndole a ésta su dureza y su contenido mineral.

De acuerdo con su condición física, los sólidos suspendidos son aquellos que se mantienen en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el líquido. Estos sólidos pueden separarse por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración. Los sólidos suspendidos se dividen en dos partes: sólidos sedimentables y sólidos coloidales suspendidos. Los sólidos sedimentables son la fracción cuyo tamaño y peso es suficiente para que sedimenten en un período determinado, generalmente de una hora en un cono de Imhoff. El resultado se expresa en mililitros de sólidos por litro de efluente, pero también se da en partes por millón, en peso. Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y un 25 por ciento de inorgánicos. Los sólidos coloidales suspendidos se definen indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Esto se debe a que “en general los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y (...) forman suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural” (Gómez Puentes, 2005, p13). Su composición es orgánica en dos terceras partes, e

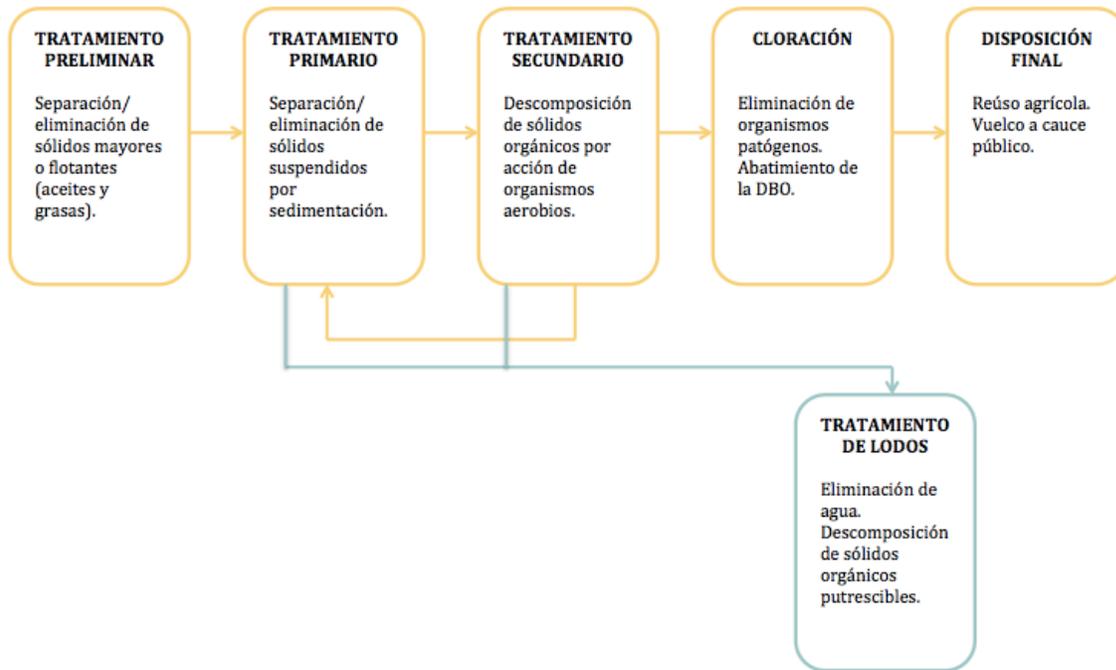
inorgánica en el resto; están sujetos a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas negras.

Por otro lado, los sólidos disueltos son la “fracción de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45  $\mu\text{m}$ ). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables y los no sedimentables” (Alianza por el agua, 2008, p22). El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por un 40% de orgánicos y 60% de inorgánicos. Finalmente, los sólidos totales, como lo indica el mismo término, engloba a todos los constituyentes sólidos de las aguas negras. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos.

De todas maneras, la cantidad de sólidos contenidos en un efluente es generalmente muy pequeña, casi siempre menos del 0.1% en peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición. Esto se debe a que los sólidos pueden bloquear bombas y dañar los componentes del sistema de tratamiento, lo que tiene un alto costo económico. Además, es en esta fracción donde se encuentran los elementos contaminantes y las sustancias a ser tratadas. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de los efluentes cloacales, todos pueden incluirse dentro de cinco procesos conocidos (Cuadro 3). El primero de ellos es el tratamiento preliminar, que sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los dispositivos utilizados están destinados a eliminar o separar los sólidos groseros mayores o flotantes, a eliminar los sólidos orgánicos pesados y

eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. Dentro de los dispositivos más usados se pueden mencionar: rejas de barras, desmenuzadores, desarenadores y tanques de preaeración.



Cuadro 3: Esquema de tratamiento de efluentes cloacales. Fuente: elaboración propia, 2017.

Durante el tratamiento primario se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas cloacales, o sea del 40 al 60% aproximadamente, mediante el proceso físico de sedimentación, siendo la actividad biológica durante este proceso de escasa importancia. El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir la velocidad de las aguas cloacales lo suficiente para que puedan sedimentarse los sólidos.

El tratamiento secundario por su parte, depende principalmente de los organismos aerobios para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o

en sólidos orgánicos estables. Los dispositivos utilizados para este tipo de tratamiento pueden dividirse en cuatro grupos: filtros goteadores, tanques de aeración, filtros de arena intermitentes y tanques de estabilización.

La cloración es otro método de tratamiento y puede llevarse a cabo en cualquier etapa. Sus principales objetivos son la desinfección o destrucción de organismos patógenos, la prevención de la descomposición de las aguas negras para controlar el olor y proteger las estructuras de la planta, como auxiliar en la operación de la planta para la sedimentación, en los filtros goteadores y en el abultamiento de los lodos activados y para el ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno. En el tratamiento de efluentes cloacales otro objetivo fundamental de la cloración es la eliminación de agentes patógenos, especialmente de huevos de Helminths y de *Escherichia Coli* mediante la aplicación de Cloro siempre que no se superen las 30 ppm; ya que a mayor concentración hay riesgo de formación de compuestos organoclorados, sumamente cancerígenos para el hombre.

Finalmente se hace el tratamiento de lodos. Éstos se generan porque la fuerza gravitatoria disminuye la cantidad de sólidos suspendidos, principalmente los sedimentables. Paralelamente “los cambios bioquímicos producen, sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de las moléculas de agua retenidas en ellos” (Falcón, 2009, p25), haciendo que se aglomeren o floculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Por último hay un aporte de lodos como consecuencia de la oxidación, muerte y regeneración cíclica de la biomasa que efectúa el tratamiento. Así, los lodos están constituidos por los

sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario, secundario y terciario, junto con el agua que se separa con ellos.

De aquí surge que el tratamiento de lodos tiene dos objetivos, el primero de ellos es eliminar parcial o totalmente el agua que contienen para disminuir su volumen en alta proporción y el segundo es que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables. Esto se logra con la combinación de dos o más de los métodos siguientes: espesamiento, digestión con o sin aplicación de calor, secado en lechos de arena (cubiertos o descubiertos), acondicionamiento con productos químicos, elutriación, filtración al vacío, secado aplicando calor, flotación con productos químicos y aire, incineración, oxidación húmeda y centrifugación. Una vez finalizado el tratamiento, el producto estable obtenido puede ser llevado a vertedero o bien ser utilizado como fertilizante.

Para completar el tratamiento se debe hacer la disposición final del efluente tratado. Como se menciona anteriormente, se recomienda llevarla a cabo en un A.C.R.E por irrigación sobre la superficie del terreno mediante surcos. Excepto por una pequeña fracción que se evapora, el efluente se infiltra en la tierra aportándole humedad al suelo y a la vegetación así como también pequeñas cantidades de nutrientes. Siempre la disposición satisfactoria de las aguas cloacales depende del tratamiento previo a esa disposición.

## Materiales Y Métodos

### Estudio de base

#### Área de estudio

El trabajo fue realizado en la empresa embotelladora de agua Eco de los Andes que se encuentra en el Departamento de Tunuyán, Provincia de Mendoza-Argentina (Imagen 1). Su localización geográfica corresponde a una latitud de  $33^{\circ}37'34,72''\text{S}$  y una longitud de  $69^{\circ}07'40,12''\text{O}$ ; su altitud es de 954 msnm.



Imagen 1: vista satelital de la empresa Eco de los Andes. Fuente: Google Earth, 2017.

Tunuyán, junto con los Departamentos de Tupungato y San Carlos, conforman el Valle de Uco (Imagen 2). Este Oasis cuenta con una extensión total de  $17.370\text{ km}^2$  (Cámara de Turismo del Valle de Uco, 2017); está limitado hacia el Oeste por la Cordillera de Los Andes y formado por una serie de pequeños valles muy fértiles donde se asienta la mayoría de la población.

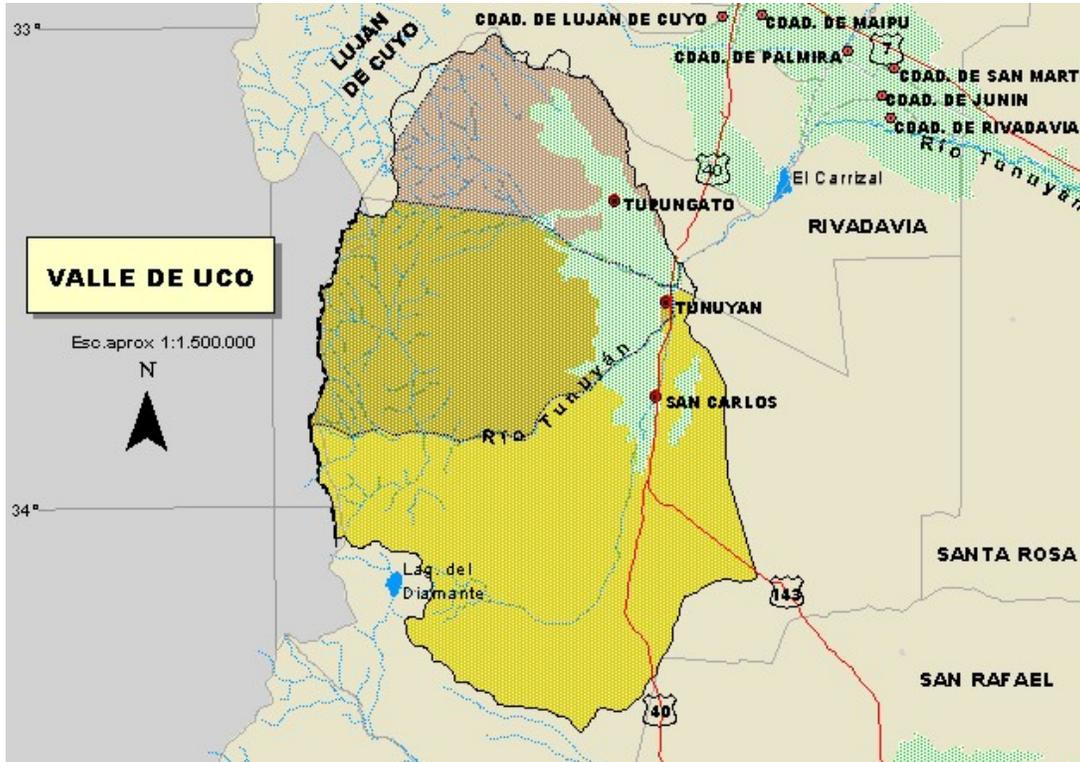


Imagen 2: Mapa de la Región del Valle de Uco, Mendoza-Argentina. Fuente: CRICYT, 2017.

La provincia de Mendoza presenta características de desierto tales como: elevadas amplitudes térmicas, precipitaciones que oscilan entre los 100 y los 300 mm al año, lluvias de carácter torrencial, vegetación predominantemente arbustiva de jarillas, chañares y zampas; paisaje típicamente árido, entre otras. El Valle de Uco pertenece al 3% de la superficie provincial ocupada por Oasis cuya principal característica es que son irrigados artificialmente por ríos modificados por el hombre a través de obras hidráulicas como canales y embalses. Además, al ser estos sectores los que poseen mayor densidad poblacional y donde se asientan la mayoría de las industrias; el paisaje y la vegetación se encuentran totalmente modificados. Por este

motivo los Oasis mendocinos no presentan las características bioclimáticas del resto de la Provincia.

El Valle de Uco también es conocido como Oasis Centro de Mendoza y es irrigado artificialmente por el Río Tunuyán Superior y sus afluentes: los arroyos Grande y Guiñazú, los ríos Las Tunas y Guajardinó y los arroyos Yaucha y Aguanda, que forman el arroyo San Carlos. Tiene lluvias no muy abundantes y heladas casi diarias en los meses de junio, julio y agosto. Está ubicado al sudoeste de la ciudad de Mendoza entre los 33° y los 34° de latitud Sur. Su temperatura media anual es de 13,38°C (Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas de Mendoza, 2017). Las altitudes oscilan entre los 900 msnm en la Ciudad de Tunuyán y los 1200 msnm del Viejo Tupungato, lo que favorece la gran diferencia entre las temperaturas diurnas y las nocturnas. Los suelos son muy permeables y de buen drenaje interno. Toda la zona se halla protegida de los vientos, siendo los predominantes suaves y frescos con principal dirección SO. Existen diversas actividades que pueden desarrollarse tales como turismo aventura, culturales, rurales y religiosas, aunque la principal actividad es la vitivinícola debido a la gran proporción de tierras cultivadas y al asentamiento de un gran número de bodegas en la región. El valle actualmente posee alrededor de 8.000 ha de viñedos.

## Geología e hidrología

### Cuenca del Río Tunuyán.

El Departamento de Tunuyán limita al norte con Tupungato, al suroeste con San Carlos y al oeste con Chile. Cuenta con una superficie de 3.317 km<sup>2</sup> (Dirección General de Escuelas, 2017) (Imagen 3) y con una población de 49.458 habitantes según el Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda del año 2010. El mismo forma parte de la Cuenca del Río Tunuyán, con características bioclimáticas, hidrológicas y geológicas que no responden a límites políticos sino a límites naturales.

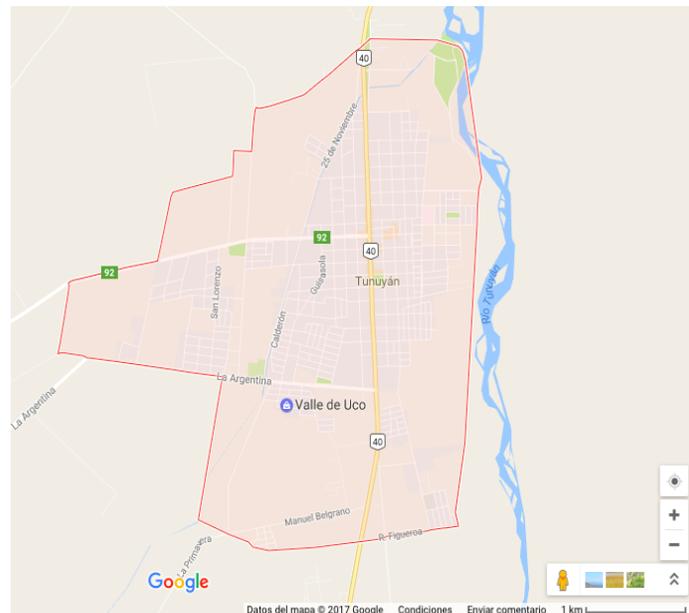


Imagen 3: Departamento de Tunuyán, Mendoza-Argentina. Fuente: Google Maps, 2017.

### **Aguas superficiales.**

La cuenca del Río Tunuyán abarca una superficie de 18.954 km<sup>2</sup>, en la zona centro y centro norte de la provincia de Mendoza (Imagen 4). Esta es una “cuenca cerrada con varios ingresos de cauces y una sola salida del colector principal que es el Río Tunuyán, que sale de la cuenca en la zona de Zapata” (Bermejillo, 2012, p225).

“El cauce de este río presenta un recorrido que nace en los glaciares de la cordillera principal, en la vertiente Suroeste del Volcán Tupungato, atraviesa el Valle de Uco, transpone la Sierra de las Huayquerías y se extingue en la travesía del Este mendocino, llegando ocasionalmente al río Desaguadero” (FAO, 2017).

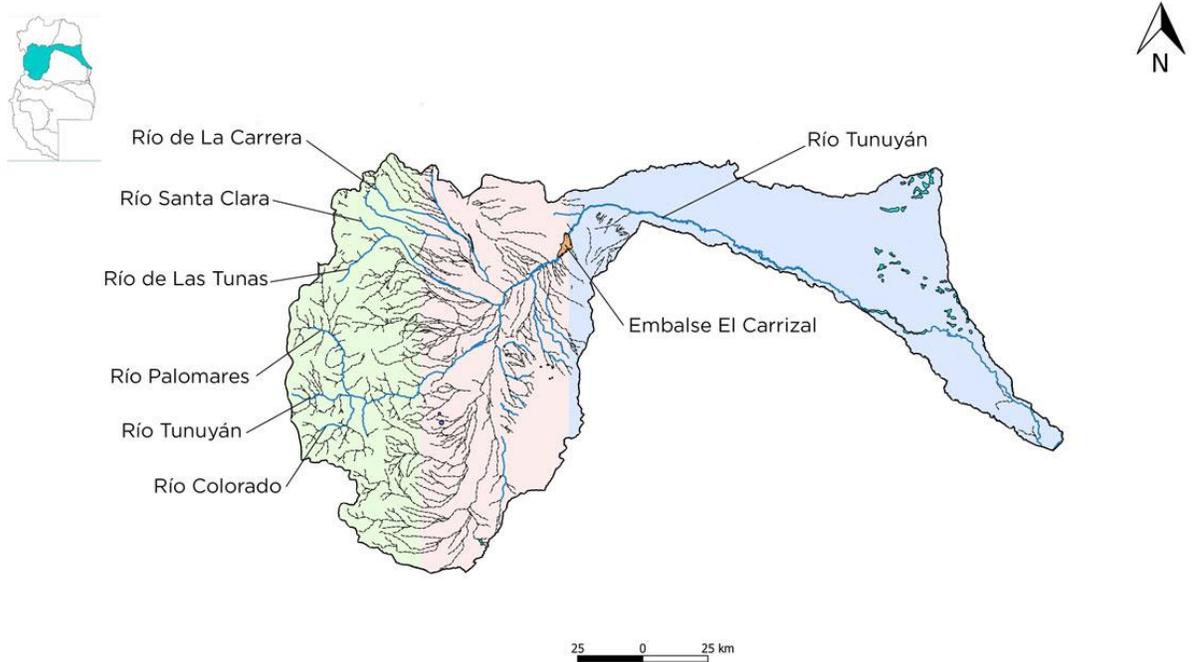


Imagen 4: Cuenca del Río Tunuyán. Fuente: Departamento General de Irrigación, IADIZA – CONICET, 2014.

La cuenca se nutre de la gran cantidad de nieve que se deposita en las altas cumbres cordilleranas; “la altitud y la distancia al Océano Atlántico, sumada a la presencia de la Cordillera de Los Andes que actúa como barrera natural a los vientos húmedos del Pacífico, modelan el clima” (Martínez, 2017, p1).

Los grandes lineamientos estructurales son: por el oeste la Cordillera Principal y la Frontal, y por el este la Depresión de los Huarpes o Graben de Tunuyán. La primera es el límite con el vecino país de Chile, es elevada y abrupta, con alturas que oscilan los 6.000m como el cerro Tupungato (6.800m), mientras que la Cordillera Frontal, llega en esa zona a los 4.500m en el

Cordón del Portillo. Resalta su importancia el sector de la planicie rellenada con depósitos fluviales y lacustres, donde se ha instalado la población.

Las geoformas presentes se constituyen por laderas (tanto escarpadas como suaves) y mesetas. Las acumulaciones de detritos rocosos forman suelos pedregosos sueltos e inmaduros. Por ser una cuenca de recorrido corto, la depositación de sedimentos es poco seleccionada. En la parte baja de la cuenca hay una “sucesión de gravas finas a medias que intercalan con paquetes de areniscas finas a medias y con paquetes importantes de arcillas plásticas y limo arcillas” (Bermejillo, 2012, p226).

El relleno sedimentario cuaternario de esta cuenca comprende gravas, gravillas, arenas y depósitos limoarcillosos depositados en bajadas pedemontanas y en los cauces de los 21 cursos de agua permanentes que atraviesan esta depresión (Imagen 5). Las áreas pedemontanas más extensas, como es de suponer, son de la Cordillera Frontal, que abarcan la mayor parte de la cuenca. Los “sedimentos fluviales son muy permeables y reciben una abundante recarga. También es alta, en general, la permeabilidad de los depósitos de las bajadas pedemontanas. En el este de la cuenca existe una cubierta de limos loésicos de origen eólico y pocos metros de espesor” (Torres y Zambrano, CRICYT, 2000).

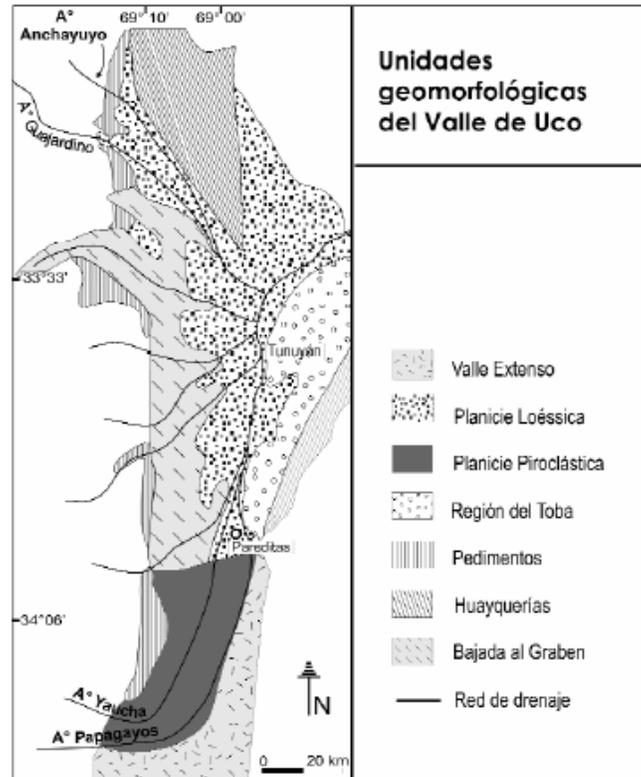


Imagen 5: Mapa de unidades geomorfológicas en el Valle de Uco. Fuente: Polanski, 1963.

### **Aguas subterráneas.**

Las cuencas Hidrogeológicas de la Provincia de Mendoza presentan límites de cuenca y límites de acuíferos. Estos últimos determinan las zonas donde los acuíferos libres pasan a estar confinados (Imagen 6). Los sedimentos que conforman los acuíferos que se explotan en la zona de Valle de Uco son de edad cuaternaria, con una base hidrogeológica constituida por sedimentos de edad terciaria.

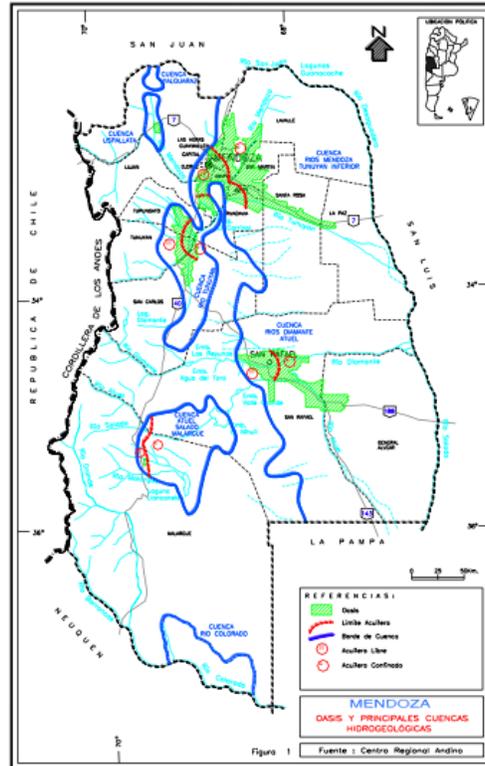


Imagen 6: Cuencas hidrogeológicas de Mendoza. Fuente: Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua (CRA-INA), 2009.

En las columnas sedimentarias analizadas en las distintas perforaciones construidas en la cuenca del Río Tunuyán se pueden observar: una zona de acuífero libre antes de los 5 km de recorrido en sentido de la pendiente regional (Oeste-Este) que llega a los 80 metros de profundidad. Por debajo existe una zona de acuíferos semiconfinados, que hacia el centro de la cuenca se transforman en acuíferos totalmente confinados, entre los 85 a 250 metros (con presiones de surgencia muy importantes) y, en algunos casos, con profundidades superiores a los 250 metros, aunque estos últimos se encuentran muy poco explorados. El espesor del relleno cuaternario llega a más de 300 metros. Tomando un valor promedio de 200 metros de

espesor saturado; el volumen de agua almacenado se estima en unos 96.000 hm<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente el 5% constituirían las reservas económicamente explotables.

La sucesión de sedimentos cuaternarios que conforman el acuífero principal de esta parte de la cuenca en Valle de Uco lo conforman “sucesiones de secuencias granocrecientes y granodecresientes con sedimentos de tamaño grava gruesa conglomerádica en la cuenca media alta intercaladas con areniscas finas a medias y con lentes de arcillas y limoarcillas” (Bermejillo, 2012, p226).

Existe una zona de recarga y cercana a esta, se desarrolla una zona de acuífero libre constituida por sedimentos gruesos a muy gruesos tamaño bloque con diámetros muy importantes como los existentes en la zona de Altamira, departamento de San Carlos.

Finalmente, respecto de las características del agua subterránea en el oasis centro de la provincia, las perforaciones de la zona del Valle de Uco son, en general, de poca profundidad y de ellas se extrae agua con baja conductividad eléctrica aparente (CEA). Se han clasificado las aguas por Riverside modificación Thorne-Peterson según su salinidad y sodicidad y de acuerdo con esta clasificación, las aguas subterráneas corresponden a la categoría C2 "salinidad baja: 250-750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ " (Bermejillo, 2012, p233). Además, “el pH toma valores de 6 a 8” (Bermejillo, 2012, p232) y la dureza total es baja, por lo que se la puede utilizar con éxito durante muchos años sin tener necesidad de tomar precauciones para impedir la acumulación de sales. El oasis

centro posee las aguas de mayor calidad y Tunuyán es el departamento que presenta los mejores valores.

### **Fitogeografía**

La gran diversidad de vegetación que se puede observar en la Provincia de Mendoza se debe tanto a la localización geográfica de la misma como a la gran variedad de relieves que pueden encontrarse desde la Cordillera de los Andes, al oeste de la Provincia, hasta las llanuras del este. Sin embargo y de manera general se puede decir que en Mendoza “predominan las estepas arbustivas de hojas perennes, ocupando los bosques y pastizales de menor tamaño” (Villagra, 2017,p7).

En Mendoza se pueden distinguir tanto el Dominio Chaqueño como el Andino-Patagónico. Las dos Provincias que se encuentran dentro del Dominio Chaqueño son la Prepuna y el Monte, mientras que como representativos del Dominio Andino-Patagónico se encuentran la Provincia Andina y Provincia Puneña (Imagen 7).

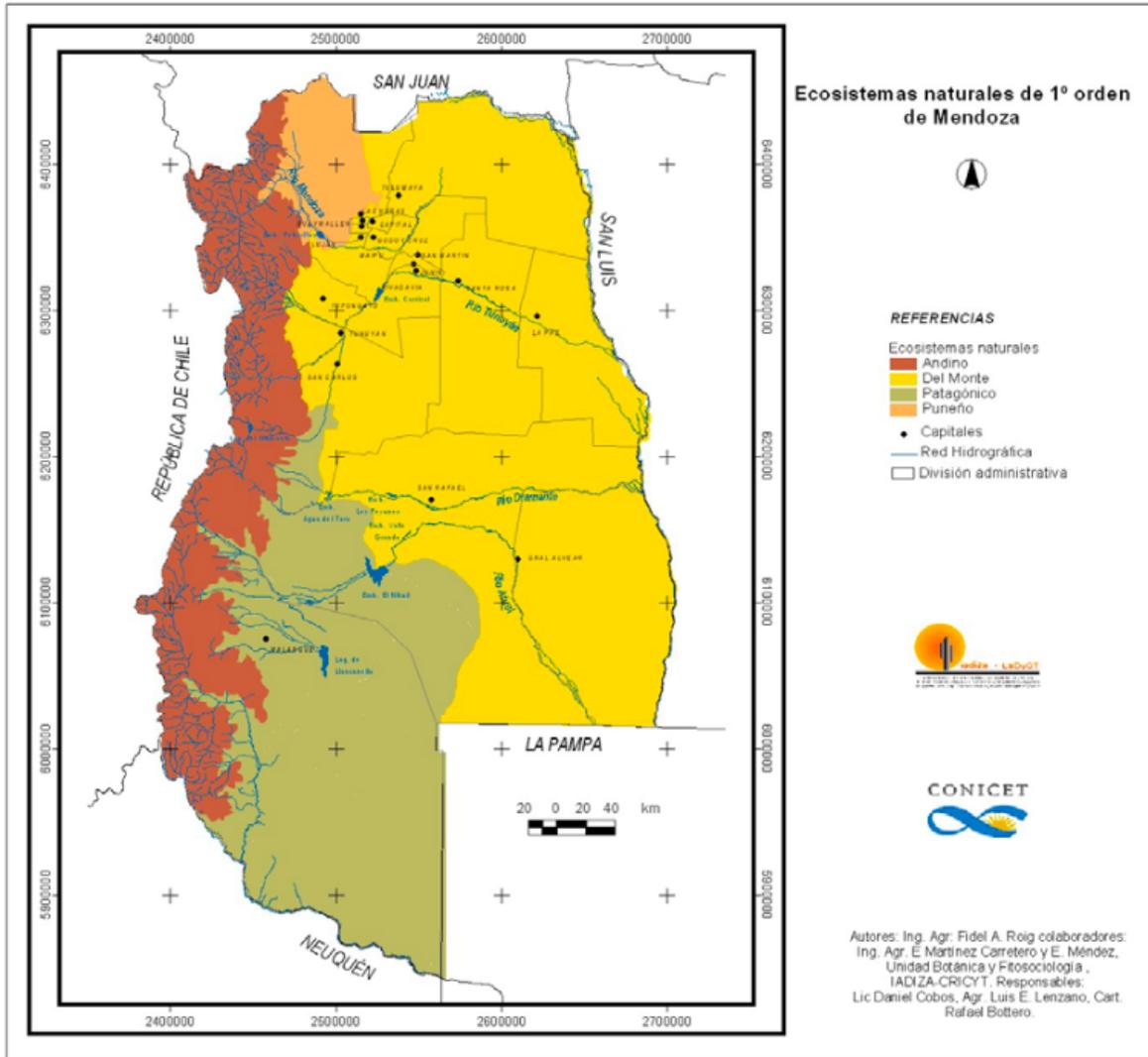


Imagen 7: Ecoregiones de la provincia de Mendoza. Fuente: Fidel A. Roig; E. Martínez Carretero y E. Méndez. Unidad Botánica y Fitosociología. IADIZA-CRICYT, 2017.

La cuenca del Río Tunuyán se configura de la siguiente manera: al oeste, en las zonas de montaña, predomina la región de Estepas Altoandinas. En el resto de la cuenca, hacia el este, se encuentra la región Monte y Cardonales de la Prepuna.

La estepa altoandina tiene la particularidad de presentarse en forma discontinua a lo largo de toda la frontera con Chile (por encima de los 4.500 msnm en el norte y va disminuyendo hacia el sur hasta los 500 msnm en la Patagonia). Las altas cumbres se encuentran con nieve durante todo el año siendo el clima frío, manteniéndose bajo 0 grados todo el año y presentando altos niveles de heliofanía. De la altitud y la gran exposición al sol resultan grandes amplitudes térmicas diarias. Las precipitaciones son escasas, varían entre 100 y 200 mm en el año. La vegetación de esta región varía según la latitud, a la región de la cuenca del río Tunuyán le son propias las estepas arbustivas de los faldeos de las montañas con influencia del monte en las zonas más bajas.

En la base y parte media de las montañas dominan las comunidades arbustivas, a medida que se asciende estas desaparecen para dar paso a los pastizales. El límite de la vegetación se encuentra entre los 4400-4300 m.s.n.m., conformado por distintas caméfitas y hemicriptófitas acompañadas por líquenes.

En cuanto a la región Monte y Cardonales de la Prepuna, ésta se encuentra dividida en dos. El sector centro y este de la cuenca corresponde con la subregión de Arbustales y Bosque del Monte. Geomorfológicamente la región se encuentra en zonas de mesetas y llanuras. La presencia de salinas se encuentra determinada por la aridez de la región. Las lluvias se dan en verano y primavera por lo que la evapotranspiración resultante es muy alta. Estas características determinan un tipo de suelos muy pobre. La forma torrencial de las lluvias y el rápido escurrimiento generan una intensa erosión hídrica. Las características de esta área es

la vegetación arbustiva de géneros como Larrea, Condalia, Acacia, Prosopis, Cereus y Opuntia (Imagen 8).



*Larrea sp.*

*Condalia sp.*

*Acacia sp.*



*Prosopis sp.*

*Cereus sp.*

*Opuntia sp.*

## Marco legal

- Constitución Nacional: en su art 41° establece que “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará

prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley”. “Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales”. “Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales”.

- Ley Nacional 25.675/02: Ley General del Ambiente. Establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Son de particular interés cuatro de los objetivos expresos en el art 2º, a saber:
  - 1) Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas;
  - 2) Promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales;
  - 3) Mantener el equilibrio y dinámica de los sistemas ecológicos;
  - 4) Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo.

- Ley Provincial 5.961/92: tiene por objeto la “Preservación del Ambiente en todo el territorio de la Provincia de Mendoza, a los fines de resguardar el equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable”. En la misma se declara de interés provincial “las acciones y actividades destinadas a la preservación, conservación, defensa y mejoramiento de los ambientes urbanos, agropecuarios y naturales y todos sus elementos constitutivos”. En su art 3º se destaca “la utilización racional del suelo, atmósfera, agua, flora, fauna, gea, paisaje, fuentes energéticas y demás recursos naturales en función de los valores del ambiente”; y en su art 5º define como principios de la política ambiental: A) el uso y aprovechamiento del ambiente y de los recursos naturales debe ser realizado de forma de no producir consecuencias dañosas para las generaciones presentes y futuras; B) los ecosistemas y sus elementos integrantes deben ser utilizados de un modo integral, armónico y equilibrado teniendo en cuenta la interrelación e interdependencia de sus factores y asegurando un desarrollo óptimo y sustentable; C) los habitantes de la provincia de Mendoza tienen derecho a gozar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”.
- Ley de Aguas del Departamento General de Irrigación: establece que “a los fines de cumplir acabadamente con las obligaciones a cargo de la administración, la ley de aguas otorga al departamento general de irrigación el poder de policía sobre las aguas,

cauces naturales y artificiales, riberas y servidumbres (artículo 6, 10, 190 y CC). En uso de esta facultad el Superintendente puede imponer diversas sanciones, como por ejemplo multas, clausura del punto de vuelco (contaminación) e incluso el cierre del establecimiento, en el caso que se produzca infección en las aguas (artículo 131 L.A.). Puede también el departamento solicitar el auxilio de la fuerza pública o autorización para ingresar a un domicilio particular (orden de allanamiento) a los fines realizar tareas inherentes a su carácter de autoridad de aguas, por ejemplo, restablecimiento de servidumbres, etc.”.

- Resolución N° 778 del Departamento General de Irrigación: Reglamento general para el control de contaminación hídrica. En su art 2° establece: “son objetivos fijados en esta norma: a) Procurar la preservación y mejoramiento de la calidad de las aguas, de conformidad a los usos asignados legalmente o por la autoridad administrativa o a los efectos de la protección del medio ambiente; b) Impedir la contaminación o degradación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, sea la misma ocasionada por causas o fenómenos naturales, como la provocada por la actividad humana; c) El ordenamiento y adecuación definitivos de los vertidos existentes a través de proyectos concretos de tratamientos de los mismos; d) La regulación del procedimiento de control de vertidos y de otorgamiento de autorizaciones y permisos”. Resulta de particular interés para el caso en estudio el art 13° de esta resolución, en el cual se establece “la prohibición de la mezcla o confusión de efluentes industriales con efluentes cloacales

para el vuelco de los mismos al dominio público hidráulico, salvo excepciones expresamente autorizadas por este Departamento, debidamente justificadas por razones técnicas. Asimismo, queda prohibido la utilización de caudales de agua que sirvan para la dilución de efluentes, salvo casos especiales debidamente autorizados y habilitados”.

- Resolución N°400 del Departamento General de Irrigación: Reglamento general de Área de Cultivos Restringidos Especiales. En su art 1.2 “se establece que la zona denominada Área de Cultivos Restringidos Especiales (A.C.R.E.) tiene por finalidad la materialización en ella del reúso controlado de los efluentes de un Establecimiento Depurador, la que podrá ser sujeta a explotación dentro de un marco de desarrollo sustentable, quedando absolutamente prohibido que estas aguas reusadas sean derramadas o conducidas fuera de sus límites o de cualquier modo liberadas a su uso irrestricto”. Esta resolución además de aprobar el reglamento antes mencionado, da los parámetros a determinar, las frecuencias de mediciones, cuyo texto y valores obran en los anexos I y II que forman parte integrante de la resolución.

### **Caso Eco de los Andes**

La Embotelladora Eco de Los Andes ofrece un agua mineral natural de manantial obtenida del principal acuífero del Valle de Uco; originado a más de 5.000 msnm. Su agua es de mineralización débil, atermal, fluorada y de bajo sodio. En su página web, nos cuentan que su

agua “originada en las nieves de las más altas cumbres, se va filtrando a través de la roca, manteniéndose en movimiento hasta surgir naturalmente con toda su fuerza y Vitalidad”. Con el objetivo de impulsar un proceso de mejora continua y asegurar un producto con los más altos estándares de calidad es que Eco de los Andes cuenta con las siguientes certificaciones:

- ISO 9001: Gestión de Calidad.
- ISO 22000: Gestión de Inocuidad de los Alimentos.
- ISO 14000: Gestión Ambiental.
- OHSAS 18000: Gestión de salud ocupacional y Administración de Riesgos Laborales.

Según los datos aportados por la empresa en su página web, la composición de su agua embotellada es la siguiente:

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
pH	8,1	-
Conductividad	230	μS/cm
Calcio	30	mg/L
Magnesio	3	mg/L
Sodio	10	mg/L
Floruro	1,14	mg/L
Potasio	4	mg/L
Cloruro	4	mg/L
Bicarbonato	79	mg/L
Sulfato	44	mg/L
<b>Total de sólidos disueltos</b>	<b>176</b>	<b>mg/L</b>

Tabla 1 : parámetros fisicoquímicos del agua mineral Eco de Los Andes. Fuente: [www.ecodelosandes.com.ar](http://www.ecodelosandes.com.ar), 2017.

Como resultado de la actividad de esta empresa se generan dos tipos de efluentes líquidos: las aguas servidas y aquellos derivados de las operaciones propias de la empresa tales como

embotellado, etiquetado, etc.; es decir, efluentes industriales. Debido a que en el predio donde se ubica Eco de los Andes no hay actualmente servicio de cloaca, hace algunos años se construyó una planta de tratamiento de efluentes cloacales para su gestión y disposición final. La misma se encuentra en paralelo a la planta de tratamiento de efluentes industriales (Imagen 9).



Imagen 9: Vista satelital zona de Planta de Tratamiento de efluentes (PTEC) de Eco de Los Andes. Fuente: elaboración propia sobre imagen Google Earth, 2017.

La problemática surge ya que luego del tratamiento, tanto de los efluentes cloacales como de los industriales, las corrientes se encuentran unificadas, lo que está expresamente prohibido en el art. 13° de la Resolución N°778 del Departamento General de Irrigación.

Además, la empresa se encuentra bajo la normativa de Nestlé Waters, la división de aguas minerales del grupo Nestlé. Dentro de esta normativa se incluyen, entre otros, los siguientes compromisos de sostenibilidad medioambiental:

- Compromiso: Trabajar para lograr la eficiencia hídrica en todas nuestras operaciones.  
Nuestros objetivos: nuestro objetivo es minimizar el impacto de nuestras operaciones en recursos hídricos naturales y en las comunidades que dependen de ellos.
  - ❖ Para 2015 – Reducir el uso directo de agua por tonelada de producto en todas las categorías de productos para lograr una reducción global del 40% desde 2005.
  - ❖ Para 2016 – Definir iniciativas de gestión del agua e iniciar su aplicación en cinco localidades de alta prioridad.
  - ❖ Para 2016 – Implementar proyectos de ahorro de agua en el 100% de las fábricas de alta prioridad.
  
- Compromiso: tratar eficazmente el agua que desechamos.  
Nuestro objetivo
  - ❖ Para 2016 – Implementar los nuevos y reforzados Requisitos Medioambientales de Nestlé sobre calidad del agua y gestión de aguas residuales en todas las fábricas para contribuir a proteger el medio ambiente.

- Compromiso: mejorar el uso eficiente de los recursos en nuestras operaciones

Nuestros objetivos: nuestro objetivo es hacer más con menos recursos y con menos residuos, a fin de preservar los recursos naturales.

- ❖ Para 2015 – Alcanzar el nivel cero de residuos en un 10% de nuestras fábricas.
- ❖ Para 2015 – Disminuir el consumo de energía por tonelada de producto en todas las categorías de producto hasta una reducción global del 25% desde 2005.

Para acercarse a estos objetivos, especialmente al nivel cero de residuos, es que se propone cerrar el ciclo de materia en la PTEC, tanto del efluente líquido como de los lodos generados. Para el efluente líquido es necesario un cambio en la disposición final, pasando del vuelco a cauce público (disposición final actual) al reúso agrícola dentro de la propiedad. Los lodos se pueden ciclar generando abono orgánico a partir de los mismos; que puede ser utilizado en la misma zona de reúso agrícola antes mencionada.

Del análisis de la situación inicial se desprende que los elementos que componen la planta de tratamiento en funcionamiento (Imagen 10) son: digester anaeróbico primario, cámara 1 (inspección), digester anaeróbico secundario, digester facultativo, tanques unitarios (1 a 4), cámara 2 (cloración), salida a cámara de aforo y cámara de aforo. Además, en el esquema a continuación se señala con flechas amarillas el recorrido del efluente desde su ingreso al digester anaeróbico primario hasta su llegada a la cámara de aforo.

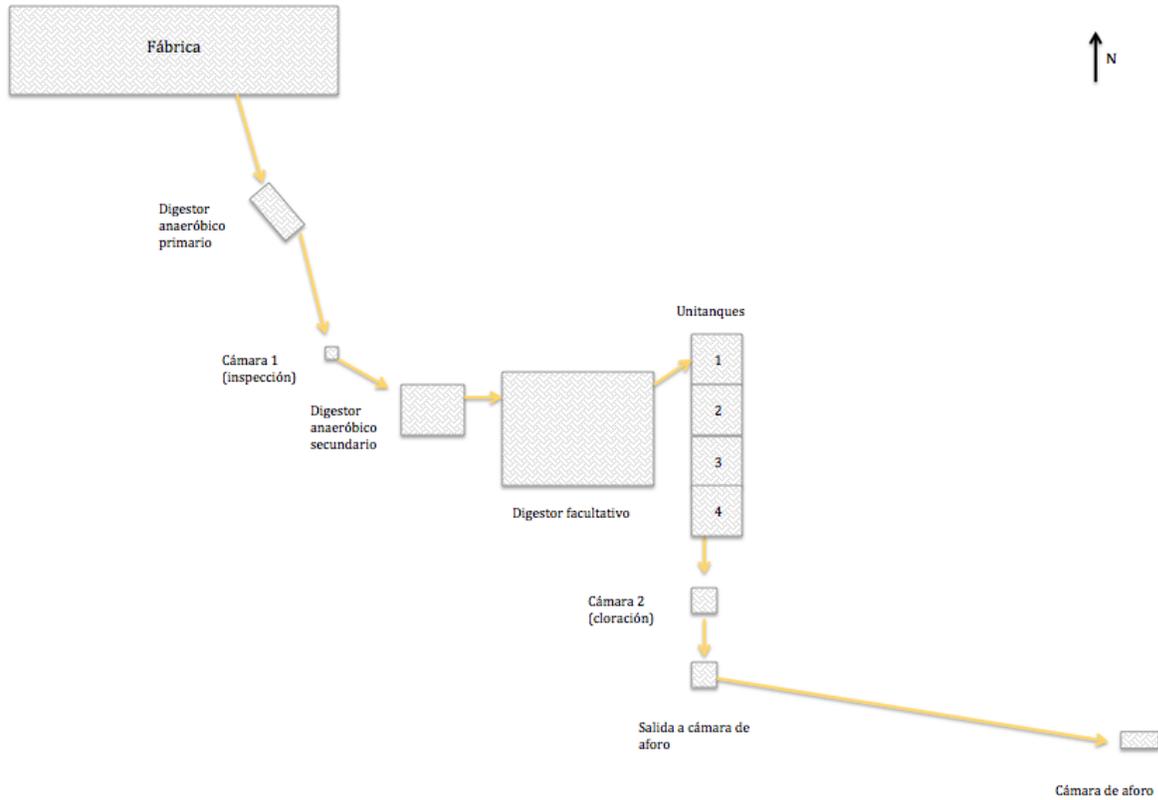


Imagen 10: Esquema de los componentes de la Planta de Tratamiento de efluentes cloacales de Eco de Los Andes. Fuente: elaboración propia, 2017.

Si bien todos estos elementos son necesarios para el tratamiento y disposición final de los efluentes cloacales, no son suficientes ni eficientes por dos motivos. El primero de ellos es que, de la forma en que se encuentra funcionando actualmente la PTEC, el tiempo de residencia hidráulico no asegura la correcta y completa degradación de la materia orgánica, sedimentación de sólidos y eliminación de agentes patógenos; y el segundo es que se producen rebalses e inundaciones en algunos de estos componentes frente a precipitaciones torrenciales (Imagen 11).



Imagen 11: Fotografías tomadas en Planta de Tratamiento de Eco de los Andes luego de una precipitación torrencial. Fuente: fotografías propias, 2017.

Para suplir el incumplimiento de la normativa antes expuesta (tanto la legislación Nacional y Provincial como la normativa Nestlé) se hace necesario proceder a la reingeniería de la planta

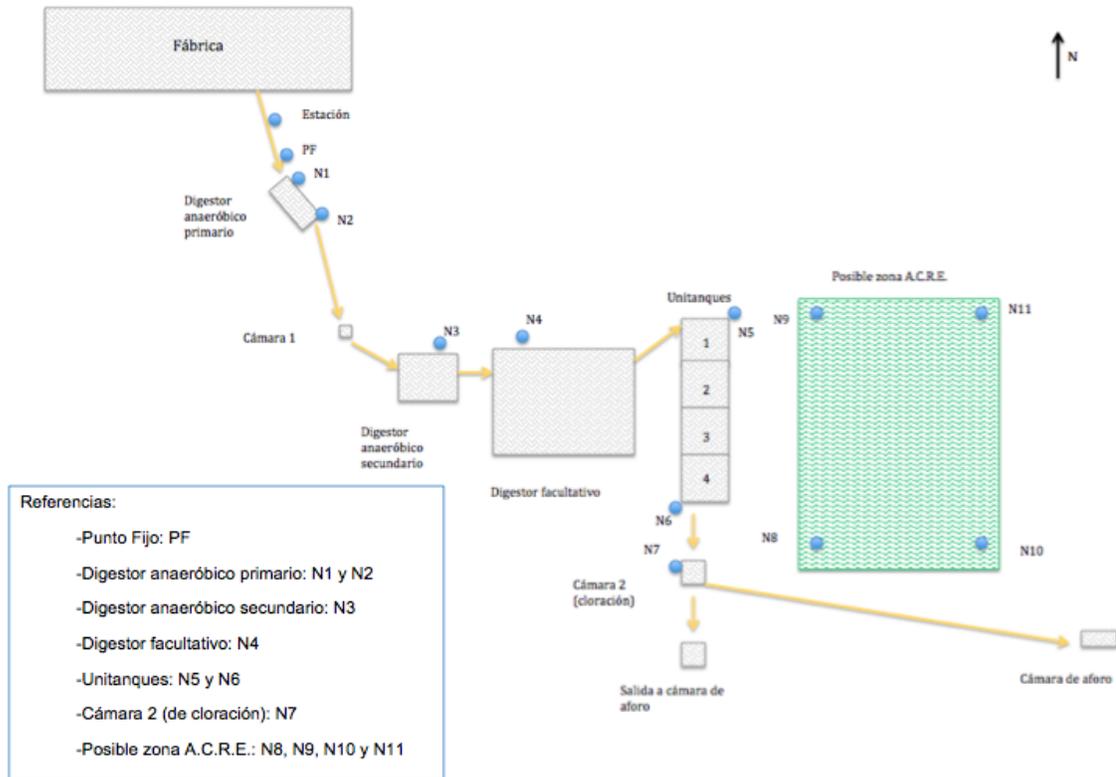
de tratamiento de efluentes cloacales, separando las corrientes cloacal e industrial e implementando, para el residuo líquido post-tratamiento un A.C.R.E., que tiene por finalidad la “materialización en ella del reúso controlado de los efluentes de un Establecimiento Depurador” (D.G.I.) y para los lodos biológicos, la tecnología adecuada para su tratamiento.

### **Primer visita**

- Se realiza un recorrido del lugar, se observan todos los elementos componentes de la PTEC y se realiza un reconocimiento visual de la zona para destinar el A.C.R.E.

### **Segunda visita**

- Se realizan las siguientes actividades:
  - *Lectura de niveles y dimensiones en todos los elementos* de la planta de tratamiento de efluentes cloacales para, posteriormente, calcular las cotas a través del establecimiento de un punto fijo (PF) y determinar las capacidades de los mismos.



Esquema 2: PTEC con los puntos donde se tomaron niveles para el cálculo de cotas.

Fuente: elaboración propia, 2017.

- *Instalación de freáticos*, uno localizado en el sector Sureste; detrás de la planta de tratamiento de efluentes denominado F1; el mismo se instala en paralelo a un canal de riego no impermeabilizado que se encuentra fuera de la propiedad pero que determina el nivel máximo de altura de agua. Otro freático en el sector Noreste del jardín frontal de la empresa denominado F2 (Imagen 13).



Imagen 13: localización de los freáticos 1 y 2, Eco de los Andes. Fuente: elaboración propia sobre imagen Google Earth, 2017.

- *Toma de muestra de suelo, S1* en el predio localizado hacia el este de la PTEC, analizada en laboratorio externo Agroas (Imagen 14).



Imagen 14: Localización del punto de muestreo de suelo (S1). Fuente: elaboración propia sobre imagen Google Earth, 2017.

### Tercer visita

- Se mide la altura del nivel freático en los freatómetros instalados previamente.
- Se procede a planificar la estimación del caudal de efluente entrante a la planta de tratamiento (parámetro desconocido), para lo cual se solicita a la empresa que se vacíe el digestor facultativo mediante camión atmosférico. Una vez realizada esta operación, personal de la empresa se encarga de medir con una regla el nivel de agua en el digestor facultativo a intervalos de dos horas durante cuatro días. Como el volumen de este componente es conocido, se estima el caudal de entrada a partir del nivel de efluente medido con la regla de la siguiente manera:

-Paso uno: una vez obtenidas todas las lecturas de altura de agua (L), se buscan aquellos períodos donde la lectura sea aproximadamente constante y se agrupan en etapas (asignándoles números romanos a cada etapa).

-Paso dos: para cada etapa se calcula

→ Promedio de altura de agua ( $\mu_L$ ) en metros, para cada etapa:

$$\mu_L = (L_1 + L_2 + \dots + L_n) / n$$

L = altura de agua medida en m.

n = número de medidas.

→ Volúmen de agua para cada etapa en  $m^3$ , multiplicando el promedio de altura de agua obtenido anteriormente por el ancho y largo del digestor facultativo (en metros):

$$V(m^3) = \mu_L * a * l$$

a = ancho del digestor facultativo (3,03m).

l = largo del digestor facultativo (3,12m).

→ Caudal en  $m^3/h$  para cada etapa, este se obtiene dividiendo el volúmen de agua por la cantidad de horas de medición de la etapa:

$$Q(m^3/h) = V(m^3) / h$$

h = número de horas de medición para cada etapa.

- Caudal en m<sup>3</sup>/día para cada etapa, multiplicando el caudal horario por la cantidad de horas laborales, que son aquellas durante las cuales se genera efluente cloacal:

$$Q(\text{m}^3/\text{día}) = Q(\text{m}^3/\text{h}) * 8 \text{ hs laborales diarias}$$

-Paso tres: se determina el caudal diario de entrada de efluente como el promedio entre los caudales diarios (m<sup>3</sup>/día) para cada etapa.

$$Q_{\text{prom}(\text{m}^3/\text{día})} = (Q_I + Q_{II} + \dots + Q_m) / m$$

m= número de etapas.

### Cuarta visita

- Se toman muestras de agua para la determinación de pH en:

Componente	Muestra
Digestor anaeróbico secundario	A <sub>1</sub>
Digestor Facultativo	A <sub>2</sub>
Unitanque 1	A <sub>3</sub>
Unitanque 2	A <sub>4</sub>
Unitanque 3	A <sub>5</sub>
Cámara de cloración	A <sub>6</sub>

Tabla 2: denominación de muestras de agua para determinación de pH. Fuente: elaboración propia, 2017.

### Trabajo de gabinete

- Con las cotas calculadas a partir de las lecturas se obtiene el perfil hidráulico de la planta de tratamiento.
- Se determina el nivel freático a partir de la medición del nivel de agua en los freatómetros 1 y 2. Esta determinación permite conocer si es posible plantar forestales en la zona del A.C.R.E. (el nivel freático debe estar lo suficientemente bajo como para

evitar la asfixia radicular). Además, al quedar los freatómetros ya instalados, se puede seguir en el tiempo la variación de la freática para saber si el caudal de efluente vertido al A.C.R.E. es excesivo (en ese caso subiría el nivel freático).

- Se realiza un balance hídrico para la zona seleccionada para el A.C.R.E. a fin de determinar la capacidad del suelo para recibir efluente.

- Metodología para el cálculo del Balance Hídrico:

-De la página web de la Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas de la Provincia de Mendoza, en la sección Datos Estadísticos para la estación meteorológica Tunuyán, se extraen los datos de temperatura máxima mensual y temperatura mínima mensual desde el año 2007 hasta el año 2016 (10 años). Con los mismos expresados en respectivas tablas se obtiene el promedio de temperatura máxima y mínima mensual.

-Se utiliza el libro *Riego y Drenaje, Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable, Tomo I*, Jorge Chambouleyron. De la página 301, del cuadro de Datos climáticos de la Estación San Carlos, Mendoza, se extraen los valores medios mensuales de temperatura (°C), humedad relativa (%), viento (km/h) y precipitación (mm). Como en esta estación no se conocen datos de heliofanía efectiva, se toman para este parámetro los valores de la estación Chacras de Coria por ser la más cercana a la estación San Carlos. Se toma como precipitación efectiva el valor cero (0) ya que éste se considera el peor caso (sin precipitaciones durante todo el año).

-Se calcula la Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $E_{t_0}$ ) en mm/día a partir del factor de uso consuntivo ( $f$ ) con el método de Blaney y Criddle. La fórmula relaciona valores reales de evapotranspiración con la temperatura media mensual y el porcentaje mensual de las horas anuales de brillo solar. La ecuación es la siguiente:

$$f = (0,457 \cdot T_c + 8,13) \cdot p$$

donde:

$f$ = factor de uso consuntivo.

$p$ = porcentaje mensual de horas de luz variable con latitud y mes del año.

$T_c$ = temperatura media mensual en grados centígrados.

Esta ecuación puede ser ajustada por las características climáticas zonales como velocidad del viento, fracción de insolación y humedad relativa mínima. Sin embargo, para el alcance del presente caso de estudio se considera que  $f \approx E_{t_0}$ .

-El coeficiente de cultivo ( $k_c$ ), se estima para un forestal caducifolio. El mismo depende del tipo de cultivo y de su fase de desarrollo.

-Se calcula la Evapotranspiración real del cultivo ( $E_{t_c}$ ) en  $m^3/ha.mes$  multiplicando, para cada mes, la  $E_{t_0}$  en mm obtenida anteriormente por 10 (para convertir a  $m^3$  y a hectárea) y por la cantidad de días de cada mes. Luego se ajusta el valor obtenido para los  $2.310,39 m^2$  de superficie del A.C.R.E. multiplicando la  $E_{t_c}$  obtenida por 0,231039.

-El Requerimiento de riego se calcula como:

$$\text{Req. de riego (m}^3\text{/mes)} = \frac{E_{t_c}}{(1-RL)} / \text{ef. riego}$$

donde:

Etc= evapotranspiración real para toda la superficie del A.C.R.E.

Ef. riego= eficiencia de riego.

RL= requerimiento de lixiviación. Debe calcularse como la relación entre la Conductividad Eléctrica del agua de riego y la Conductividad Eléctrica del agua de drenaje:

$$RL = \frac{CE \text{ agua de riego}}{CE \text{ agua de drenaje}}$$

-Caudal máximo ( $Q_{\text{máx}}$  ( $\text{m}^3/\text{mes}$ )): se obtiene multiplicando el caudal diario de efluente calculado anteriormente como  $2\text{m}^3/\text{día}$  por la cantidad de días para cada mes.

-Finalmente, el Balance Hídrico ( $\text{m}^3/\text{mes}$ ) se obtiene como la diferencia entre el requerimiento de riego (necesidad del cultivo) y el caudal máximo mensual de efluente generado en la PTEC ( $Q_{\text{máx}}$ ), para cada mes. Así, un valor negativo en el Balance Hídrico indica que la superficie considerada requiere de un aporte de agua externo (con efluente tratado y/o complemento con agua de riego), mientras que un valor positivo indica que el cultivo dispone de suficiente agua.

- Se lleva adelante un estudio de factibilidad de reúso de efluentes cloacales. Planteo y análisis de alternativas de sistemas de tratamiento de efluentes para el caso en estudio:

#### **-Planteo y análisis de alternativas para el tratamiento de efluente líquido**

Del análisis de la situación inicial de la PTEC y de acuerdo a los objetivos fijados para lograr el tratamiento de los mismos, se proponen alternativas. Las mismas son analizadas en base al LDP (Limiting Design Parameter-Parámetro limitativo del Diseño).

Para la disposición final del efluente el LPD es la capacidad hidráulica del suelo y para la modificación de la planta existente el LPD es el potencial para la degradación de la materia orgánica y la existencia de componentes ya construidos.

En el planteo de las diferentes alternativas se considera la utilización de la infraestructura existente y en algunos componentes las modificaciones mínimas que hagan posible el tratamiento y disposición final en forma eficiente y bajo normas vigentes.

El método de selección descarta las alternativas que resultan groseramente poco aceptables con las características del proyecto industrial, con la disposición final del efluente tratado, con el costo o complejidad de construcción y con el costo o complejidad de operación:

- **Lagunaje.**

Consiste en la construcción de lagunas en serie, por donde el efluente va transitando a la vez que ocurre la degradación de la materia orgánica y la sedimentación de sólidos y de agentes patógenos. El tratamiento depende mayormente de la vida microbiana y de las plantas y animales inferiores en el sistema. Su ventaja es que requieren menor superficie que los sistemas de tratamiento en el suelo y sus desventajas son que requieren aireación (mayor costo económico y energético) para evitar malos olores, requieren tiempos de residencia largos, ocupan superficies importantes y producen un efluente de menor calidad que los generados en los sistemas de tratamiento en el suelo.

El sistema se descarta por la eventual generación de olores desagradables. Además, la parcela de disposición final está en una zona cercana a la planta industrial y resulta inevitable la incidencia de vectores como moscas, mosquitos y otros insectos indeseables.

- **Método de lodos activados y disposición en ACRE.**

El Método de lodos activados es un “proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos” (Falcón, 2009, p83). Los lodos activados están formados por flóculos parduzcos que consisten en materia orgánica proveniente de las aguas negras y que se encuentran poblados por miles de bacterias y otras formas de vida; tienen la capacidad de absorber o adsorber la materia orgánica disuelta o coloidal, lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos utilizan el material absorbido como alimento convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles.

La ventaja de este método es que ocupa muy poco espacio y no auspicia el desarrollo de vectores indeseables. Aunque de elevado costo constructivo y de operación, es el fundamento de la planta existente, por lo que su costo se reduce a modificaciones puntuales.

- **Sistemas de infiltración lenta SR (por sus siglas en inglés Slow Rate percolation)**

Se define como la “aplicación de aguas residuales a una velocidad controlada sobre una superficie cultivada” (Abernathy, 1990, p3) Después de la aplicación y la infiltración, el agua percola en forma vertical y lateral a través del perfil del suelo. Este sistema tiene un alto potencial de tratamiento ya que en la capa superior del suelo hay mayor intensidad microbiana aerobia y es allí donde se encuentran las raíces de las plantas; por lo que las aplicaciones de efluente debe ser intermitente para permitir la recuperación aeróbica de la zona activa del suelo. El sistema requiere de un tratamiento primario y secundario con disposición en un ACRE.

Si bien el tratamiento previo ocupa un área relativamente pequeña , la disposición en A.C.R.E. requiere de una superficie adecuada que permita resolver el volumen de vertido.

- **Sistemas de infiltración rápida RI (por sus siglas en Inglés Rapid Infiltration)**

Consisten en la aplicación controlada de agua residual en estanques poco profundos con suelos moderadamente o muy permeables. Soportan una carga hidráulica relativamente alta y tienen un alto potencial de tratamiento; sin embargo tienen un potencial limitado para la remoción de Nitrógeno. El sistema se descarta fundamentalmente por incompatibilidad con la textura del suelo disponible.

- **Sistemas de humedales**

Son aquellas tierras donde la superficie del agua se encuentra a la misma altura o por encima de la superficie del suelo durante un período lo suficientemente prolongado cada año como para mantener condiciones de suelo saturado y permitir el crecimiento de la vegetación.

Al igual que el lagunaje, el sistema se descarta básicamente por la eventual generación de olores desagradables. Además, la parcela de disposición final disponible está en una zona cercana a la planta industrial y resulta inevitable la incidencia de vectores como moscas, mosquitos y otros insectos indeseables.

- **Disposición de lodos en digestor anaerobio**

Es un proceso de degradación lenta del contenido orgánico del lodo por medio de bacterias anaerobias estrictas, que lo transforman en compuestos más sencillos como agua, dióxido de carbono, aniones, nitratos, sulfatos y fosfatos; aunque el proceso nunca alcanza la desmólisis completa.

Está constituido por dos celdas contiguas que se llenan en forma secuencial. Es decir que se llena una de ellas hasta su coronamiento y se mantiene en anaerobiosis por 6 meses. Cumplido este plazo se retira la cubierta superior para permitir su secado. Este secado se alcanza en aproximadamente 8 meses. El lodo estabilizado y con humedad menor al 40%, permitirá su remoción manual o mecánica siendo posible su uso como abono orgánico en la parcela de reúso.

Los lodos son transportados por bombeo u otros medios en forma periódica.

Este sistema se descarta ya que los lodos crudos suelen ser malolientes y generan gases nocivos, explosivos o inflamables, tales como hidrógeno, metano y sulfuro de hidrógeno lo que hace poco segura su operación y mantenimiento.

- **Disposición de lodos en filtro de arena**

Los filtros de arena intermitentes son lechos en los que puede aplicarse intermitentemente efluentes. La arena actúa como un filtro que retiene y separa las partículas finas de los sólidos suspendidos, además de que actúan como unidades de oxidación. Esta oxidación la llevan a cabo organismos aerobios en la superficie del lecho, formando una capa de lodo que debe retirarse periódicamente para que el filtro funcione eficientemente. Finalmente el líquido que ha atravesado el lecho es recolectado mediante colectores o tubos perforados y recirculado al digestor facultativo de la PTEC.

Este es el sistema que se recomienda debido a su sencilla construcción, a que no necesita de grandes espacios y no genera olores desagradables al ser un proceso aeróbico. La celda debe tener un volumen total de 5 m<sup>3</sup> y se estima que puede admitir los lodos de al menos 18 meses.

### **Quinta visita**

- Reunión de consenso con personal de la empresa y toma de decisión para modificación de planta de tratamiento mediante la selección de la alternativa más conveniente:

En consenso con personal de la empresa se decide que la solución resulta en un sistema de tratamiento primario y secundario mediante aireación prolongada, sedimentación final y disposición en suelo forestado. Para ello se selecciona el método de lodos activados y disposición en A.C.R.E. en un sistema de infiltración lenta. El efluente en el perfil de suelo alcanzaría niveles cercanos al tratamiento terciario. Para el tratamiento de lodos se selecciona el sistema de filtro intermitente de arena con producción de abono orgánico para el A.C.R.E.

El riego superficial de forestales califica en la categoría “B” de la Organización Mundial de la Salud (1989) que estipula las siguientes categorías para el agua de reúso

Categoría	Uso del agua tratada	Grupo expuesto	Nemátodos intestinales <sup>a</sup>	Coliformes fecales <sup>b</sup>	Tratamiento necesario
A	Riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deportes, parques públicos.	Trabajadores, consumidores público	≤ 1	≤ 1000	Serie de lagunas de estabilización o tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivo de cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles <sup>c</sup> .	Trabajadores	≤ 1	No se recomienda ninguna forma	Retención en lagunas de estabilización por 8 a 10 días o tratamiento equivalente.
C	Riego localizado de los cultivos en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos.	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego, pero no menos que sedimentación primaria.

## Resultados. Reingeniería Planta De Tratamiento

### Primer visita

- Elementos componentes de la planta de tratamiento:
  - Digestor anaeróbico primario: es el primer componente de la PTEC. Aquí se reciben las aguas servidas del establecimiento. Se observa que el digestor trabaja de forma anaeróbica ya que al descubrir la tapa cementicia, se observa un sombrero de sólidos flotantes que impide la oxigenación del líquido.



Imagen 15: Vista del digestor anaeróbico primario con la tapa colocada. Fuente: fotografía propia, 2017.

- Cámara 1: es una cámara de inspección y permite la toma de muestras de manera rápida y fácil (Imagen 16). Cuando se producen precipitaciones torrenciales esta cámara se rebalsa y los efluentes no tratados quedan sobre la superficie.



Imagen 16: Cámara de inspección. Izquierda: vista del componente sin rebalses. Derecha: vista de la cámara luego de una precipitación torrencial. Fuente: fotografías propias, 2017.

- Digestor anaeróbico secundario: posee una malla de contención de 5 cm x 5 cm en su parte superior para evitar que caigan objetos dentro del digestor que puedan obturarlo y también como medida de seguridad. En su interior se observan sólidos groseros como hojas, tapas plásticas, colillas de cigarrillos, papel higiénico, entre otros (Imagen 17). En la zona de ingreso de la cañería al digestor hay una reja para evitar el paso de sólidos mayores al diámetro de succión de la bomba que se encuentra en el digestor facultativo.



Imagen 17: Digestor anaeróbico secundario. Izquierda: detalle de la malla de contención; se observan sólidos flotando dentro del digestor. Derecha: vista completa del digestor con malla y baranda de seguridad. Fuente: fotografías propias, 2017.

- Digestor facultativo: es el elemento de mayor volúmen de toda la PTEC. Si bien no se observan rebalses, es necesario modificarlo para aumentar el tiempo de residencia hidráulico del efluente y acondicionarlo para la recirculación del mismo, de manera que se promueva la oxigenación y la degradación de la materia orgánica (Imagen 18). Posee una bomba que puede utilizarse para succión hacia los unitanques o para recirculación (procedimiento que posibilita la oxigenación del fluido interno).



Imagen 18: vista del digestor facultativo con su tapa y cuadro de maniobras. Fuente: fotografías propias, 2017.

- Unitanques: son cuatro unitanques comunicados entre sí por vertederos multi “V”, de manera que el efluente va pasando desde el unitanque 1 hasta el 4 por desborde. En

el fondo de los mismos se observan aireadores disco de microburbujas, que permiten la oxigenación del efluente cloacal. Algunos de éstos discos ya no funcionan por lo que deben ser reemplazados (Imagen 19).



Imagen 19: Unitanques. Arriba: cuadro de maniobras. Abajo izquierda: aireadores disco de microburbujas. Centro: detalle de ingreso de efluente al unitank. Derecha: vertedero multi "V" para el paso de efluente. Fuente: fotografías propias, 2017.

- Cámara 2 (cloración): la dosificación de hipoclorito a 30 ppm asegura la desinfección final del efluente. La cámara posee una estructura serpenteante interna que permite que el líquido tenga suficiente tiempo de reacción antes de salir hacia cámara de aforo (Imagen 20).



Imagen 20: Cámara de cloración. Izquierda: vista de la cámara y del tanque con Hipoclorito para dosificación. Derecha: detalle salida del efluente. Fuente: fotografías propias, 2017.

- Entorno: la zona sureste de la propiedad no recibe riego y se observan especies herbáceas varias (Imagen 21). Debido a la pendiente y a la ubicación respecto de la PTEC, se propone esta zona para ubicar el A.C.R.E. La empresa posee derecho de agua superficial por lo que hay agua disponible para complementar el riego de esta zona en caso de necesidad.



Imagen 21: Posible zona de localización del A.C.R.E. Fuente: fotografías propias, 2017.

## Segunda visita

- Lectura de niveles y determinación de cotas

Altura Estación: 947 msnm + 2,18m = 949,18 msnm						
Punto de medición	Altura Estación(m)	Lectura sobre nivel del suelo(m)	Cota superficie(msnm)	Profundidad(m)	Lectura total(m)	Cota total(msnm)
N1	949,18	4,29	944,89	2,3	6,59	942,59
N2	949,18	4,01	945,17	1,4	5,41	943,77
N3	949,18	3,99	945,19	1,7	5,69	943,49
N4	949,18	3,9	945,28	3,3	7,2	941,98
N5	949,18	1,66	947,52	2,1	3,76	945,42
N6	949,18	1,66	947,52	1,95	3,61	945,57
N7	949,18	3,33	945,85	1,05	4,38	944,8
N8	949,18	4,33	944,85	0	4,33	944,85
N9	949,18	4,31	944,87	0	4,31	944,87
N10	949,18	4,97	944,21	0	4,97	944,21
N11	949,18	4,8	944,38	0	4,8	944,38

Tabla 3: Niveles y cotas determinados con nivel óptico. Fuente: elaboración propia, 2017.

- Volúmenes de los componentes de la PTEC

Elemento	Largo(m)	Alto(m)	Ancho(m)	Volúmen (m <sup>3</sup> )
Digestor anaeróbico primario	6,04	2,3	2,23	30,98
Cámara 1	0,6	1,4	0,6	0,50
Digestor anaeróbico secundario	2,91	1,7	1,5	7,42
Digestor facultativo	3,12	3,3	3,03	31,20
Unitank 1	2,54	1,66	2,4	10,12
Unitank 2	2,55	1,66	2,4	10,16
Unitank 3	2,52	1,66	2,4	10,04
Unitank 4	2,51	1,66	2,4	10,00
Cámara 2 (cloración)	3	1,05	1,7	5,36
<b>TOTAL</b>				<b>115,77</b>

Tabla 4: Cálculo de volúmenes de los componentes de la PTEC y cálculo estimativo de superficie de A.C.R.E. Fuente: elaboración propia, 2017.

- Muestra suelo:

ANÁLISIS DE SALINIDAD						
MUESTRA	COND. ELÉCTRICA (Micromhos)	Ca + Mg (me/L)	Sodio (me/L)	Cloruros (me/L)	R.A.S.	pH en Pasta Saturada
1	857	6,8	2	2,5	1,08	7,24

INTERPRETACIÓN		
MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
1	No Salino	No sódico Neutro

FERTILIDAD						
MUESTRA	Nitrógeno Total (ppm)	Fósforo Relac.: 1:10 (ppm)	Potasio Intercambiable (ppm)	Materia Orgánica (%)	Volúmen de Sedimentación (mg%g)	Textura Clasificación
1	1260	1,53	240	1,78	136	Franco Arcillo Limoso

INTERPRETACIÓN				
MUESTRA	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia Org.
1	ALTO	POBRE	ALTO	ALTO

Tabla 5: Análisis de suelo. Fuente: elaboración propia en base a datos de Laboratorio Agroas, 2017.

### Tercer visita

- Freatímetros: lectura de altura de agua

F1: 2,13 m

F2: 1,44 m

- Caudal digestor facultativo

FECHA	HORA	ALTURA (cm)	ALTURA (m)
4/2/16	16:35	0,5	0,005
4/2/16	18:30	2,5	0,025
4/2/16	20:30	4	0,04
4/2/16	23:00	6	0,06
5/2/16	01:00	7,5	0,075
5/2/16	03:00	8,5	0,085
5/2/16	05:00	9,5	0,095
5/2/16	07:00	10	0,1
5/2/16	09:00	10	0,1
5/2/16	11:00	12	0,12
5/2/16	13:00	10,8	0,108
5/2/16	16:00	17	0,17
5/2/16	18:00	18	0,18
5/2/16	20:00	18,5	0,185
5/2/16	23:00	19	0,19
6/2/16	01:00	19,5	0,195
6/2/16	03:00	20	0,2
6/2/16	05:00	20,5	0,205
6/2/16	07:00	20,5	0,205
6/2/16	09:00	20,5	0,205
6/2/16	11:00	20,5	0,205
6/2/16	13:00	20,5	0,205
6/2/16	17:00	22	0,22
6/2/16	20:00	22,5	0,225

Tabla 5: Lecturas de altura de agua en digestor facultativo. Fuente: elaboración propia, 2017.

#### Cuarta visita

- Determinación de pH

Muestra	pH
A <sub>1</sub>	7
A <sub>2</sub>	10
A <sub>3</sub>	6
A <sub>4</sub>	7
A <sub>5</sub>	7
A <sub>6</sub>	6

Tabla 6: Medición de pH en muestras de agua. Fuente: elaboración propia, 2017.

## Trabajo de gabinete

### > Perfil hidráulico

Es el plano vertical que pasa por el eje hidráulico de la PTEC y en el que se representan las magnitudes que caracterizan la corriente (ver Anexo I). Del perfil hidráulico obtenido se observa que el efluente puede discurrir por gravedad desde el digester anaeróbico primario hasta el digester facultativo. Desde allí es necesaria la utilización de bombas hacia el unitanque 1 y hacia el sistema de tratamiento de lodos ya que éste movimiento no puede hacerse por gravedad. A partir de los unitanques, el efluente puede seguir su recorrido por gravedad hasta el A.C.R.E.

### > Caudal diario de entrada de efluente

Etapa	Sumatoria	Promedio	Volúmen (m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)
I	1,12	0,19	1,76	0,16	1,28
II	1,025	0,21	1,94	0,24	1,94
III	0,445	0,22	2,10	0,70	5,61
					<b>Q<sub>prom</sub> = 2,94 m<sup>3</sup>/día</b>

Tabla 7: Cálculo de caudal de entrada de efluente a la PTEC. Fuente: elaboración propia, 2017.

La estimación del caudal de entrada se lleva a cabo una sola vez en el mes de Febrero de 2016. Al ser una medición puntual que, por cuestiones operativas y económicas no puede

repetirse en el tiempo y considerando que la PTEC no se encuentra en régimen al momento de las lecturas de nivel; se considera que el valor obtenido por tabla sobreestima el parámetro. Complementariamente se considera como cálculo general que la cantidad de efluente generado por día por persona es de 20L; de manera que al haber en promedio 100 trabajadores por día en la planta industrial:

$$100 \text{ trabajadores/día} * 20\text{L efluente/trabajador.día} = 2.000 \text{ L efluente/día} = 2 \text{ m}^3 \text{ efluente/día}$$

De manera que se considera un caudal diario de entrada de efluente de  $2 \text{ m}^3/\text{día}$ .

➤ Nivel freático (NF)

NF1 en F1= 1,63 m.

NF2 en F2 = 0,94 m.

➤ Balance hídrico

-Datos climáticos Estación meteorológica San Carlos- Chacras de Coria:

Mes	Temp. Mín. °C	Temp. Máx. °C	T media mensual °C	Humedad %	Viento km/h	Heliofania hs
Enero	5,74	38,74	20,9	51	5	9,9
Febrero	5,71	36,50	20,1	55	7	9,1
Marzo	2,27	37,48	16,7	60	5	7,7
Abril	-2,70	30,53	13,4	63	5	7,3
Mayo	-4,96	27,20	9,5	67	5	6,5
Junio	-8,38	24,53	5	68	5	3,8
Julio	-9,99	25,07	5,2	68	5	6,1
Agosto	-7,23	28,18	7,5	66	5	7,1
Septiembre	-4,58	29,79	9,7	59	6	7,3
Octubre	-0,57	30,32	13,6	55	6	8,6
Noviembre	1,13	35,41	17,8	51	6	9,4
Diciembre	3,59	37,29	20,2	55	6	9,9

Tabla 8: datos climáticos medios mensuales. Fuente: elaboración propia, 2017.

-Coeficiente del cultivo: se selecciona para la forestación del A.C.R.E. *Populus nigra* “Álamo negro” y se estima el kc en un rango de 1,25 a 0,4 al ser un árbol de hoja caduca con sotobosque debajo. Se asignan valores mensuales estimativos para todo el rango.

-Se considera que el agua de riego tiene una conductividad eléctrica de  $750 \mu S/cm$ , valor determinado como máximo para los acuíferos de esa zona del Valle de Uco (Bermejillo, 2012, p233). Para el agua de drenaje se toma el valor de  $2.250 \mu S/cm$  que es el máximo tolerado por las plantas. De aquí que:

$$RL = \frac{750 \mu S/cm}{2.250 \mu S/cm} = 0,33$$

-Para el cálculo del requerimiento de riego se considera una eficiencia de riego de 0,8.

-Balance hídrico

Mes	p	kc	Eto,f mm/día	Pp. Media Mensual mm	Pp. Efect Mens mm	Etc (NR) m3/ha.mes	Etc m <sup>3</sup> /2.310,39m <sup>2</sup> .mes	Requerimiento de riego m <sup>3</sup> /mes	Q.max m <sup>3</sup> /mes	Balance Hídrico m <sup>3</sup> /mes	SFR (m <sup>2</sup> )	SFR (ha)
Enero	0,32	1,25	5,66	31	0	2192,48	506,55	949,78	62	-887,78	283	0,028
Febrero	0,30	1,25	5,19	36	0	2012,95	465,07	872,01	56	-816,01	278	0,028
Marzo	0,28	1,15	4,41	53	0	1573,35	363,51	681,57	62	-619,57	394	0,039
Abril	0,25	0,5	3,56	14	0	552,33	127,61	239,27	60	-179,27	1086	0,109
Mayo	0,23	0,4	2,87	9	0	355,69	82,18	154,08	62	-92,08	1743	0,174
Junio	0,22	0,4	2,29	10	0	284,12	65,64	123,08	60	-63,08	2112	0,211
Julio	0,23	0,4	2,42	10	0	299,64	69,23	129,80	62	-67,80	2069	0,207
Agosto	0,25	0,4	2,89	6	0	358,28	82,78	155,21	62	-93,21	1730	0,173
Septiembre	0,27	0,7	3,39	14	0	736,06	170,06	318,86	60	-258,86	815	0,082
Octubre	0,29	1,18	4,16	36	0	1521,77	351,59	659,23	62	-597,23	407	0,041
Noviembre	0,31	1,25	5,04	18	0	1953,79	451,40	846,38	60	-786,38	307	0,031
Diciembre	0,32	1,25	5,56	27	0	2152,81	497,38	932,59	62	-870,59	288	0,029

Tabla 9: balance hídrico para A.C.R.E. Eco de los Andes. Fuente: elaboración propia, 2017.

## Quinta visita

### Modificaciones de la planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales

A continuación se describen las modificaciones a realizar en cada uno de los componentes de la PTEC:

> Digestor anaeróbico primario

En este componente se aumenta la cota de coronamiento 0,6 m de modo de impedir el derrame en terrenos aledaños.

Se verifica la estanqueidad de la conducción al componente siguiente. En caso de roturas se reparan o reemplazan las mismas.

Este componente separa parte de los sólidos sedimentables y flotantes.

El aumento de volumen es de 8,08 m<sup>3</sup> y contribuye con un incremento del tiempo de residencia hidráulico que se busca para un adecuado tratamiento posterior.

> Digestor anaeróbico secundario:

Se eleva la cota de coronamiento al mismo nivel del componente anterior.

Este componente separa los sólidos sedimentables y flotantes que superan el sedimentador primario a niveles convenientes para el tratamiento facultativo del componente siguiente.

El aumento de volumen para este elemento es de 2,62 m<sup>3</sup>, lo que contribuye con un incremento del tiempo de residencia hidráulico que se busca para un adecuado tratamiento posterior.

> Digestor facultativo

Este componente, se encuentra actualmente asistido aeróbicamente con un soplador lobular. Se levanta la cota de coronamiento al igual que los anteriores componentes y se ajusta el dispositivo de arranque y pare a cotas adecuadas para aumentar el tiempo de residencia hidráulico del efluente.

Una descarga permanente del sistema de tanques unitarios permite la recirculación y aireación mínima que asegure condiciones facultativas sin llegar a la anaerobiosis estricta. Esta descarga se efectúa del último tanque unitario facilitando también la reposición de la masa microbiana requerida en la degradación de los componentes orgánicos.

En caso de observarse insatisfactoria la aireación se asiste mecánicamente con los sopladores existentes. Esta asistencia es controlada por temporizador.

Se realiza una conexión hacia el filtro de arena para la descarga de los lodos en el mismo a la vez que el drenaje colector del lecho de arena (el líquido recolectado se llama claro), vuelve al digestor facultativo de manera de recircular el efluente y que finalmente éste claro llegue al A.C.R.E.

> Tanques unitarios

Este componente, se encuentra parcialmente asistido aeróbicamente con el mismo soplador lobular. Esta asistencia se mantiene pero asistida por un temporizador.

Los lodos del último tanque retornan al digestor facultativo.

La tubería con válvula reguladora de caudal y su trazado deben ser definidas en la ingeniería de detalle o directamente en obra. En el diseño de la tubería se evitan codos siendo convenientes las curvas de amplio radio.

Desde el último tanque el efluente se dirige a los tanques de sedimentación final mediante cañería externa.

- > Tanques de sedimentación

Se deben adicionar dos tanques de  $15 \text{ m}^3$  que reciban el efluente luego de su paso por los unitanques para que allí se produzca la sedimentación final antes de ingresar a la zona de reúso. Además, la incorporación de este componente al sistema de tratamiento permite un incremento del tiempo de residencia hidráulico.

- > A.C.R.E

El ACRE (Imagen 22) debe tener una superficie mínima de  $2.000 \text{ m}^2$ . Esta superficie se foresta con salicáceas, específicamente con *Populus nigra* "Álamo negro". Ésta especie se selecciona por su rápido crecimiento, fácil cuidado, alta tolerancia al frío y a las sales contenidas en el efluente tratado y por el uso de su madera adicionando así un recurso más para la empresa. La población de álamos genera una demanda hídrica superior al caudal diario de entrada estimado en  $2\text{m}^3/\text{día}$ .



Imagen 22: Vista satelital zona destinada a A.C.R.E. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Earth, 2017.

➤ Filtro de arena intermitente

Debe construirse en la zona contigua al digestor facultativo, al Norte del mismo. El filtro consta de una capa de grava de tamaño regular, bajo una capa de arena limpia, de 15 a 22,5 cm de profundidad. Bajo la capa de grava debe haber colectores de tubos perforados, con no menos de 15 cm de grava sobre ellos y espaciados de seis en seis metros entre ellos como máximo. La tubería que lleve los lodos al lecho debe terminar a 30 cm sobre la superficie de arena.

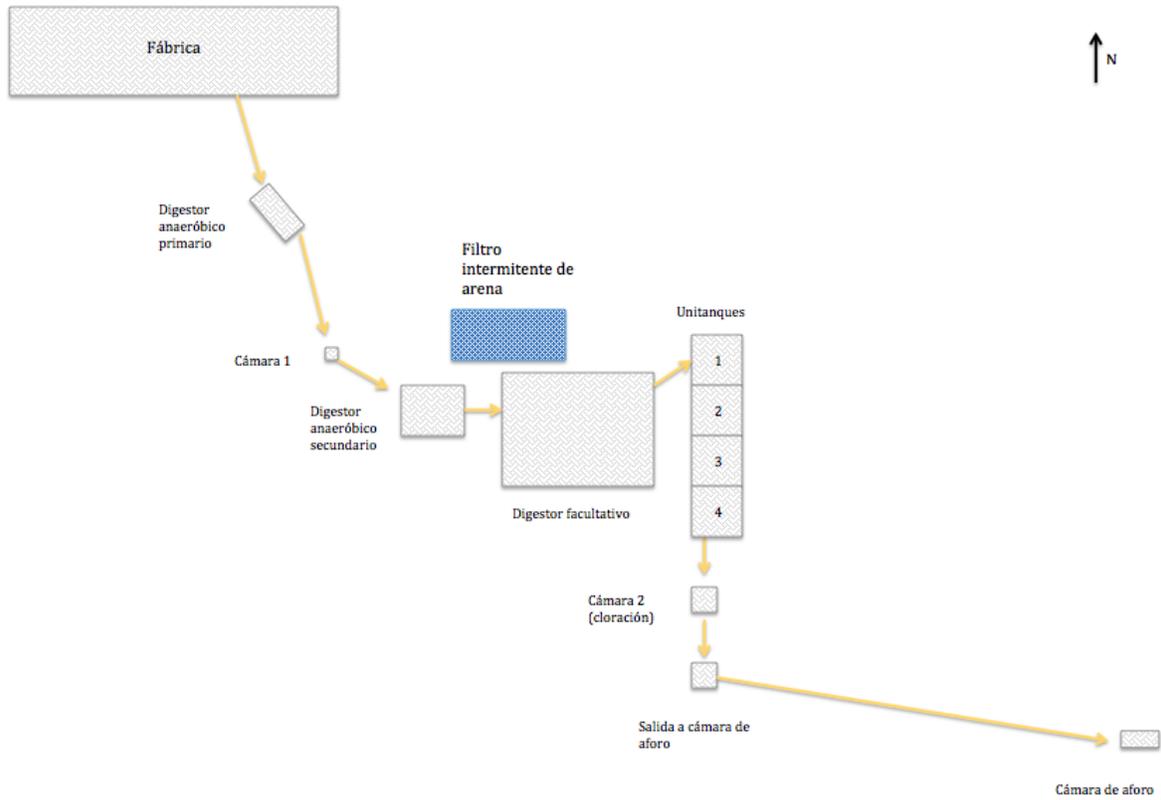


Imagen 23: Ubicación filtro de arena intermitente. Fuente: elaboración propia, 2017.

Así, luego de las modificaciones realizadas, la Planta de Tratamiento permite el cierre del ciclo de materia tanto para el efluente líquido como para los lodos tratados (Imagen 24).

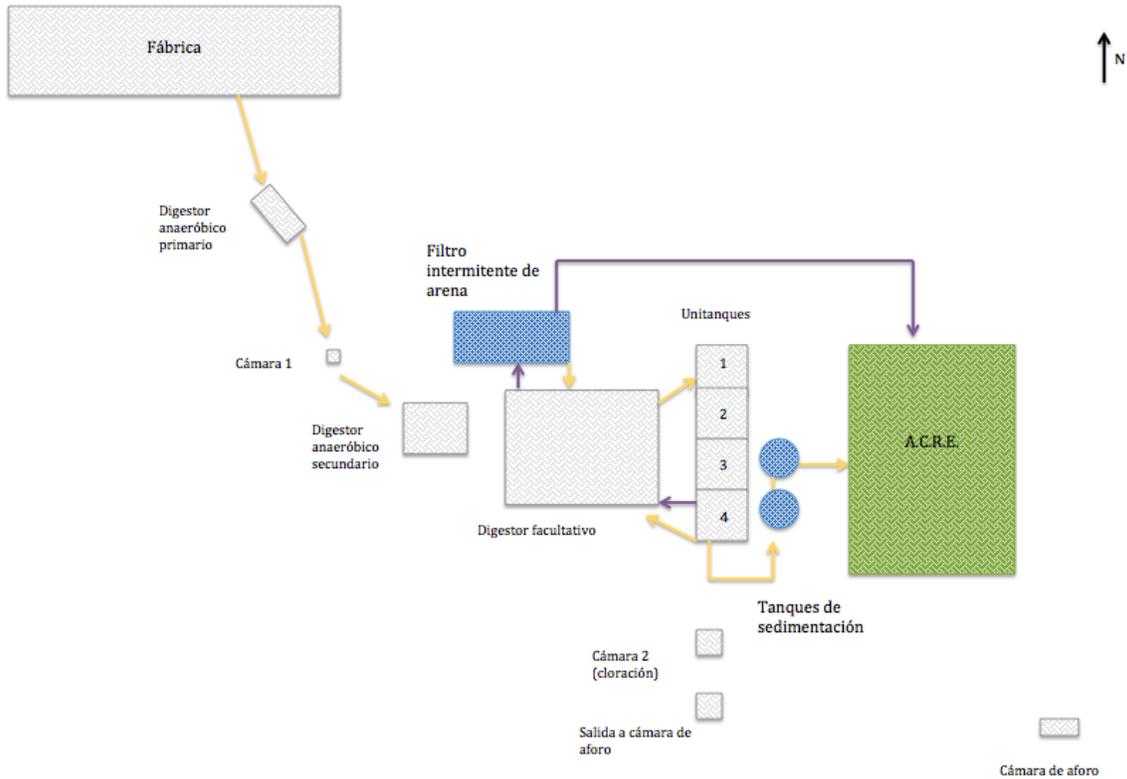


Imagen 24: cierre del ciclo de materia en PTEC Eco de Los Andes. Fuente: elaboración propia, 2017.

## Discusión

El diseño y la operación de una instalación de tratamiento de aguas cloacales requiere no sólo un entendimiento de las operaciones que emplean procesos fundamentales físicos, químicos y biológicos para eliminar constituyentes específicos del agua, sino también del correcto montaje del tren de proceso de tratamiento mediante el cumplimiento de cuatro etapas:

- 1)-Identificación de las características del agua cloacal.
- 2)-Identificación de los objetivos del tratamiento (en el contexto de la comunidad donde se desarrolla la actividad industrial).

3)-Integración de las operaciones de unidad en un proceso completo que reconozca la oportunidad y límites de cada proceso unitario y cómo se complementan entre sí.

4)-Incorporación de conceptos de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, pensando los procesos de manera holística, contemplando los ciclos naturales y apuntando a la sustentabilidad para incorporar asuntos más allá de los estándares de tratamiento dados por la legislación y los organismos de control, de los costos capitales y operacionales; con el objetivo de lograr procesos cada vez más complejos y eficientes desde una visión integrada.

Respecto del caso en estudio se destaca:

- Situación inicial:
  - La zona donde se encuentra emplazado el establecimiento corresponde a una de las áreas con mejor calidad en su acuífero, lo que hace que las características iniciales del agua que se convertirá en efluente sean: baja conductividad eléctrica, pH levemente alcalino y bajo contenido de sólidos disueltos. Esto se traduce en un efluente fácilmente adaptable a los parámetros dados por el D.G.I.
  - De la planta de tratamiento de efluentes es importante resaltar que su ubicación en el sector sureste de la propiedad es el mejor posible, ya que se corresponde con el movimiento subsuperficial del agua y con la pendiente del terreno. Así la utilización de la gravedad como motor de movimiento del líquido es la opción más conveniente para minimizar la utilización de energía externa (bombas) y, por lo tanto, de recursos de origen no renovable.

- Como resultado de la caracterización inicial de la PTEC se observa por un lado que la misma está sobredimensionada en el volúmen total pero con una ineficiente distribución en los componentes. Por otro lado, si bien fue pensada de manera correcta en cuanto al proceso de tratamiento, el mismo no resulta óptimo por falta de tiempo de residencia hidráulico, insuficiente sedimentación de sólidos y por una incorrecta operación y mantenimiento.
  
- Reingeniería:
  - El tren de proceso de tratamiento propuesto mediante las modificaciones indicadas en los resultados presenta varias ventajas a saber:
    - Compartmentalización mediante la utilización en secuencia de digestores de manera que, por un lado se van separando los sólidos sedimentables, el líquido y los sólidos flotantes por etapas. Esto es más eficiente que realizar la misma operación en un sólo compartimiento. De la misma manera, se favorece la degradación de la materia orgánica por aumento del tiempo de residencia hidráulico.
    - Recirculación del líquido y de los lodos para asegurar la regeneración de la flora microbiana y la correcta oxigenación de los componentes aerobios.

- Reutilización de elementos ya existentes con el fin de minimizar los costes económicos y el tiempo de obras.
- Incorporación de:
  - Filtro de arena intermitente para cerrar el ciclo de materia sólida de la PTEC.
  - Tanques de sedimentación final. Altamente ventajosos en cuanto al ser móviles, pueden ser fácilmente trasladados en caso de no utilizarse más, o pueden añadirse más tanques al proceso en caso de aumentar el caudal de efluente generado en el futuro.
  - A.C.R.E. que permite cerrar el ciclo de los efluentes líquidos y disminuir el uso de agua para riego. Se observa que el balance hídrico arroja valores negativos; lo que indica que la superficie del A.C.R.E. puede recibir los efluentes y le faltaría agua para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo. Por este motivo es que deben darse riegos para completar las necesidades del cultivo y evitar que el A.C.R.E. sufra por falta de agua, sobre todo en los meses de máximo consumo. Además, la superficie factible de riego máxima se estima en 2.112 m<sup>2</sup>, sin embargo la elección de 2.310,39 m<sup>2</sup> como superficie del A.C.R.E. se debe a que se tuvo en cuenta el posible crecimiento de la empresa (y de sus efluentes) en el futuro, a la disponibilidad de terreno y como

medida de seguridad para evitar el deterioro y/o muerte de las planta. Aquí es necesario aclarar que según los resultados obtenidos el nivel freático en la zona es de 1,63m, suficiente como para que pueda regarse sin que se produzca sobresaturación del suelo y/o asfixia radicular. Además el análisis de suelo arroja excelentes características para la implantación del cultivo (no salino, no sódico, pH neutro y altos contenidos de Nitrógeno, Potasio y materia orgánica). El pH del efluente también es neutro y, el perfil hidráulico indica que el riego puede hacerse sin necesidad de utilizar bombas. Todo esto determina que la zona seleccionada es la óptima para reúso.

- De hecho, si bien luego de la reingeniería, todavía es necesaria la utilización de la misma cantidad de bombas (ya sea para mover el efluente del digestor facultativo hacia el unitanque 1 o para la recirculación desde el unitanque 4 hacia el digestor facultativo y también para la recirculación y extracción de lodos y recuperación de claros desde el filtro de arena), al haber aumentado la capacidad total de la PTEC, se puede decir que hay un incremento de la eficiencia energética.
- La tecnología seleccionada para el tratamiento resulta óptima debido a que utiliza los componentes ya existentes mediante pequeñas modificaciones de los

mismos, contempla mejoras para aumentar la eficiencia y lograr los objetivos propuestos y facilita su operación y logística de mantenimiento.

- La reutilización del agua es en la actualidad un objetivo crítico para cualquier actividad, debido a la continua disminución en la calidad (contaminación) y en la disponibilidad. La situación de la Provincia de Mendoza es muy delicada ya que, además de tratarse de una zona climática desértica, se encuentra bajo emergencia hídrica debido a la disminución de las precipitaciones nivales anuales. Para el caso de actividades privadas como la de Eco de los Andes, la tendencia es incrementar la eficiencia de procesos que impliquen la utilización del agua e incorporar conceptos como el de reúso. Con los residuos se observa una tendencia que tiene dos directrices: por un lado disminuir su generación, y por otro, cambiar la concepción desde productos que ya no pueden ser utilizados y por lo tanto deben ser eliminados del ciclo de producción hacia una nueva visión como recursos que todavía pueden seguir en el ciclo de materia y ser utilizados. Como sabemos Eco de Los Andes tiene metas definidas en el tiempo mediante compromisos factibles de conseguir en cortos a medianos plazos para cambiar a una nueva visión más sustentable. Al modificarse el objetivo del tratamiento para el reúso agrícola, se cierra el ciclo de materia de los efluentes, volviendo el líquido ya tratado al ciclo hidrológico (una fracción se evapotranspira, otra vuelve al acuífero, otra llega a los cursos de agua, etc.), mientras que los lodos ya convertidos en abono pueden seguir su ciclo formando parte de la estructura molecular de la vegetación, de las bacterias del

suelo, de microorganismos, etc. El reúso implica un cambio en los parámetros exigidos por el Departamento General de Irrigación que se hacen menos rigurosos respecto del vuelco a cauce público. Éste cambio no sólo favorece a la empresa mediante la reutilización del agua y la incorporación de un nuevo recurso (renovable) como es el maderero sino que también favorece a la sociedad de la región ya que se utiliza menos agua, se evita la contaminación del cuerpo de agua que anteriormente recibía el efluente tratado y se adicionan al ambiente los servicios ecosistémicos generados por la comunidad de álamos incorporados al A.C.R.E.

## Conclusiones

Habiendo analizado el caso en estudio y en base a la bibliografía utilizada, los datos recolectados, el análisis de parámetros y los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- El análisis de situación actual de los efluentes generados en la Industria Eco de los Andes resulta satisfactoria ya que permite un conocimiento amplio y detallado de los mismos.
- Los parámetros estimados indican que la zona recomendada para el A.C.R.E es la correcta dentro del predio de la propiedad, que el nivel freático permite la implementación del mismo, que las modificaciones necesarias en la PTEC pueden llevarse a cabo priorizando la utilización de la gravedad para el

movimiento del líquido, que la zona de reúso se encuentra con un balance hídrico negativo por lo que puede aceptar un caudal de efluente para el riego de forestales y que la propuesta de reingeniería es la mejor opción disponible.

- Como resultado de la reunión con personal de la empresa se selecciona como tecnología óptima para el tratamiento de lodos biológicos el filtro intermitente de arena y la incorporación del abono orgánico generado a la zona de reúso. Esta tecnología se enfrentó a modificaciones y ajustes y siguió siendo la óptima.
- A través del análisis ya presentado de la zona del A.C.R.E. se concluye que el cambio a reúso agrícola es altamente ventajoso y que este destino final colabora en el objetivo principal de Eco de los Andes de lograr cero residuos.

Llegando al fin del estudio con resultados satisfactorios en lo ambiental, económico y social, se expone como conclusión que la reingeniería de la planta de tratamiento de efluentes cloacales mediante la incorporación de un A.C.R.E. y un digestor de lodos biológicos, permite el cierre del ciclo de materia y la reducción del consumo de energía utilizada en el proceso.

## Bibliografía

**Abernathy A., Ray, Allen H., Dan, Aulenbach B., Donald, Basitan K., Robert, Bouwer, Herman, Chase D., Kimberly,....,Zirschky, John. (1990).** *Sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales.* Water Environment Federation, Alexandria, VA 22314-1994.

**Arundel, J. (2000).** *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales.* España: Acribia S.A.

**Bermejillo, A., Llera, J., Martí, L., Valdés, A., Cónsoli, D., Venier, M., ... & Troilo, S. (2012).** Aptitud para riego del agua subterránea basada en la salinidad y sodicidad en las perforaciones realizadas entre 2004 y 2010 en los Oasis Norte y Centro de Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 44(2), 221-240.*

**Blazquea, P. y Montero, C., (2010).** *Reutilización de agua en Bahía Blanca – Planta tercera cuenca.* Argentina: Editorial UTN.

**Cámara de Turismo del Valle de Uco (sf).** Recuperado de <http://www.valledeuco.org/valledeuco.php>

**Chambouleyron J. 2005.** Riego y drenaje. *Técnicas para el desarrollo de una agricultura regadía sustentable.* Tomos I y II. EDIUNC. Universidad Nacional de Cuyo.

**Chambouleyron, J., Salatino, S., Drovandi, A., Filippini, M., Medina, R., Zimmermann, M.,...,Antoniolli, E.** (2002). *Conflictos ambientales en tierras regadías*. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

**Dirección de Agricultura y Contingencias Climáticas de Mendoza** (2017). Estación meteorológica Tunuyán. Recuperado de <http://www.contingencias.mendoza.gov.ar>.

**Dirección General de Escuelas** (2017). Recuperado de <http://www.mendoza.edu.ar/25-de-noviembre-qdia-del-deparatamento-de-tunuyanq/>.

**Falcón, C.** (2009). *Manual de tratamiento de aguas negras* (No. 628.3 N8M3). Nueva York. Departamento de Sanidad..

**FAO (2017).** *Áreas de Riego- Provincia de Mendoza*. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA\\_DE\\_MENDOZA\\_FINAL.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/estudio/riegointegral/areasexistentes/Anexos/PROVINCIA_DE_MENDOZA_FINAL.pdf).

**Gómez Puentes, N.** (2005). *Remoción de Materia Orgánica por Coagulación-Floculación* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

**Levin, M. y Gealt, M.,** (1997). *Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos*. Madrid, España: McGRAW-HILL/Interamericana de España.

**Ley Nacional N° 25.675 (2002).** “Política Ambiental Nacional, Presupuestos mínimos para gestión sustentable” Argentina, B. Oficial: 28/11/02. Nro.:30036. El Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina.

**Ley Provincial N° 5.961 (1992).** “Preservación del Medio Ambiente”. Mendoza, B. Oficial: 25/02/93. Nro. arts.: 0050. El Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Mendoza.

**Martínez, S. (2017).** *Sistema Nacional de Información Hídrica, Cuencas y regiones hídricas superficiales, Cuenca del Río Tunuyán.* Recuperado de <https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/57.pdf>

**Nestlé S.A. (2015).** Public Affairs. “Nestle en la sociedad. Creación de valor compartido y cumplimiento de nuestros compromisos 2014”, [www.nestle.com/asset-library](http://www.nestle.com/asset-library).

**Organización Mundial de la Salud. (1989).** *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura* (Informe técnico N° 778). Recuperado de [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39333/1/WHO\\_TRS\\_778\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39333/1/WHO_TRS_778_spa.pdf)

**Polo, J. Y Seco Torrecillas, A. (2008).** *Tratamientos biológicos de aguas residuales.* Valencia, España: Alfaomega.

**por el Agua, A.** (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Monográficos Agua en Centroamérica, Ideasamares.

**Resolución N°400 (2003).** Visto el expediente Nro.: 233.715 caratulado: “Cedula O.S.M S.A. s/ Reglamento General de Acre”. Honorable Tribunal Administrativo del Departamento General de Irrigación.

**Resolución N°627 (2000).** Visto en expediente Nro.: 225.481 caratulado: “Policía del Agua s/ Modificación Resl 778/96 del H.T.A. (T-P-39-2000). Honorable Tribunal Administrativo del Departamento General de Irrigación.

**Resolución N°778 (1996).** Visto el expediente Nro.: 217.029 caratulado: “Secretaria de asuntos institucionales s/ Reglamento General para el Control de Contaminación Hídrica”; (T.S.221.1996). Honorable Tribunal Administrativo del Departamento General de Irrigación.

**Torres, E. y Zambrano, J.** (2000). *Inventario de Recursos para la Planificación y Gestión de la Región Andina Argentina*. Programa de cooperación para la investigación, Junta de Gobierno de Andalucía, España. Universidades y Centros de Investigación de la Región Andina Argentina (CRICYT).

**Villagra, P., Cesca, E., Álvarez, J., Rojas, F., Bourguet, M., Rubio, C. y Gdaque, P. (sf).**

*Documento de Ordenamiento de Bosques Nativos de la provincia de Mendoza. Anexo II.*

**Yáñez F. (1991).** Digestión Anaeróbica de lodos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

