

TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS HÍDRICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TÍTULO:

“ESTUDIO de EFLUENTES URBANOS para
RIEGO AGRÍCOLA en GENERAL PICO
Provincia de LA PAMPA”

Palabras Claves: Aguas residuales. Demanda Biológica de Oxígeno. Demanda Química de Oxígeno. Uso Consuntivo. Riego complementario agrícola.

TESISTA: Ing. Agr. Enrique Mario FIORUCCI

DIRECTOR: Mcs. Ing. Juan Carlos MECCA

Noviembre de 2011

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi profundo agradecimiento al Director de esta tesis, Mcs. Ing. Juan Carlos Mecca, sin cuyo apoyo y guía me hubiera resultado imposible realizarla; a la Coop. C.O.R.P.I.C.O. que dió el respaldo institucional y a los profesionales y entidades por su valioso asesoramiento e información brindada.

Ing. Agr. Enrique Mario Fiorucci

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen:	5
Capítulo 1: Introducción	6
1.1 Presentación de la Problemática	6
1.2 Hipótesis y Objetivos	8
1.3 Organización de la Tesis	9
Capítulo 2: Marco Teórico	10
2.1 Nociones de Hidrología	10
2.1.1. Ciclo Hidrológico	10
2.1.2. Hidrología de Llanuras	11
2.1.3. Funcionamiento Hidrológico Conceptual	11
2.2. Tratamiento de las Aguas Residuales	12
2.3. Reutilización de Aguas Residuales Regeneradas	18
2.4. Reutilización del Agua Residual a gran escala	21
2.5. Efectos Ambientales	28
2.6. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	30
2.7. Evapotranspiración y Uso Consuntivo de los Cultivos.	33
2.8. Riego	38
2.8.1. Conceptos Generales	38
2.8.2. Calidad de Aguas Residuales para Riego	39
2.8.3. Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas	40
Capítulo 3: Recopilación de Datos – Metodología	41
3.1. Universo de Estudio	41
3.2. Fuentes Primarias y Secundarias Consultadas	41
3.3. Tipo de Investigación	42
3.4. Plan de Análisis	42
3.5. Instrumentos Utilizados	43

1Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio	44
4.1. Ubicación Geográfica	44
4.2. Descripción General del Cuenco Receptor	45
4.3. Síntesis Climática	47
4.3.1. Precipitaciones	47
4.3.2. Balance Hidrológico Climático	49
4.3.3. Temperatura	51
4.3.4. Vientos	51
4.4. Suelos y Vegetación	52
4.5. Síntesis Geomorfológica	53
4.6. Síntesis Hidrogeológica	53
4.7. Índice Poblacional	54
Capítulo 5: Procesamiento de los Datos	54
5.1. Precipitación	54
5.2. Líquidos Tratados	56
5.3. Desagües Pluviales	57
5.4. Escurrimientos Superficiales	57
5.5. Evaporación	58
5.6. Infiltración	59
5.7. Niveles Estáticos	59
5.8. Análisis de los Efluentes	60
5.9 Balance Hídrico Anual	64
5.10 Superficie Potencial a Regar	68
5.11 Calidad de los Efluentes	69
Capítulo 6: Resultados y Discusión	70
Capítulo 7: Conclusiones	74
Capítulo 8: Recomendaciones	74
Capítulo 9: Bibliografía	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Superficies de diseño propuestas en el "Estudio Integral para el Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico". . .	6
Tabla 2.	Índices de Aridez de la UNEP	12
Tabla 3.	Componentes de Interés en el Tratamiento de Agua Residual . . .	20
Tabla 4.	Criterios de Calidad Aplicados a la Regeneración del Agua para Riego	21
Tabla 5.	Condiciones que deben cumplir las aguas reutilizadas para riego agrícola cuando procedan de aguas residuales urbanas o de industrias cuyos vertidos son análogos a las de las urbanas	24
Tabla 6.	Métodos de Análisis y Frecuencias mínimas de muestreo	25
Tabla 7.	Condiciones que deben cumplir las aguas reutilizadas para riego agrícola cuando proceden de aguas residuales industriales	25
Tabla 8.	Guías recomendadas de calidad microbiológicas del agua de desperdicio para uso en agricultura (FAO 1992)	26
Tabla 9.	Valores del Coeficiente Kc del cultivo	36
Tabla 10.	Sistema de Riego por Aspersión vs. Sistema de Riego Superficial (MUJERIEGO, R., 1990)	39
Tabla 11.	Mediciones del Nivel superficial de las Piletas	46
Tabla 12.	Registros históricos de precipitaciones mensuales de la ciudad de General Pico desde el año 1921 hasta el año 2009	48
Tabla 13.	Balance Climático Mensual de Thornthwaite	50
Tabla 14.	Temperaturas Mínimas, Máximas y Medias	51
Tabla 15.	Frecuencia de Vientos	51
Tabla 16.	Población proyectada para la ciudad de General Pico según proyecto Acueducto Río Colorado	54
Tabla 17.	Población servida con cloacas según Estudio Integral para el Saneamiento Urbano y Suburbano de la ciudad de Gral. Pico. . .	54
Tabla 18.	Distribución de las lluvias y principales variables estadísticas . . .	55
Tabla 19.	Caudales Proyectados hasta el año 2040	56
Tabla 20.	Valores promedios mensuales de Tanque de Evaporación	58

Tabla 21. Análisis de Efluentes	60
Tabla 22. Análisis de Efluentes	61
Tabla 23. Análisis de Efluentes	62
Tabla 24. Valores Mínimos Anuales	64
Tabla 25. Caudales s/ ocurrencia de Precipitaciones Medias	66
Tabla 26. Caudales s/ ocurrencia de Precipitaciones Máximas	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación del Coeficiente Kc con el crecimiento del cultivo	36
Figura 2. Ubicación Geográfica General Pico	44
Figura 3. Imagen de la Zona de Estudio	45
Figura 4. Imagen de Regla en la Pileta	46
Figura 5. Balance Hídrico de Thornthwaite	50
Figura 6. Frecuencia de Vientos	52
Figura 7 Gráfico de Precipitaciones Anuales de General Pico	55
Figura 8. Curvas de Nivel Piletas de Tratamiento y Ea. La Consecuencia . . .	57
Figura 9. Puntos de extracción de Muestras de Efluentes	63
Figura 10. Variaciones de los Valores de D.Q.O. y D.B.O	63
Figura 11. Gráfico de las Variaciones de Nivel en el Cuenco	65
Figura 12. Gráfico de las Variaciones de Nivel en el Cuenco	66
Figura 13. Gráfico de las Variaciones de Nivel en el Cuenco	68
Figura 14 Plano General de la Traza del Canal Principal	71
Figura 15 Gráfico de Variaciones Estimadas p/ Precipitaciones Mínimas . . .	72
Figura 16. Gráfico de Variaciones Estimadas p/ Precipitaciones Medias	72
Figura 17. Plano de la Conducción de Aguas para Riego	73

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene por objeto presentar distintas alternativas de reúso de efluentes urbanos e industriales de la ciudad de General Pico en riego agrícola, a fin de solucionar la problemática sanitaria y medioambiental que el vertido de los mismos ocasiona y a la vez favorecer actividades productivas autosustentables.

Un tema fundamental de estudio fue la calidad química y microbiológica de los efluentes, determinante en la elección tanto de las especies vegetales, como de los sistemas de riego a implementar.

Se realizó una revisión de la bibliografía actual referida a la legislación que se aplica para el reúso de las aguas residuales recuperadas, en los países más avanzados en esta problemática y las normas de seguridad que proponen los organismos internacionales en la materia.

En virtud que la hidrología de la región es netamente de llanura, las formas de evacuación natural de los efluentes son preferentemente la evaporación y la infiltración.

Se analizaron los valores de Evapotranspiración Potencial y de Necesidad de Riego de los cultivos y se priorizaron los más seguros desde el punto de vista sanitario y medioambiental.

En la Hipótesis se planteó si la práctica del riego complementario agrícola podría ser una solución viable y sustentable, a los problemas que actualmente sufre la ciudad con los derrames cloacales.

Después de analizar la bibliografía existente, la opinión de expertos en las distintas disciplinas que incumben a esta temática, se concluyó que el traslado de los efluentes tratados y su posterior uso en riego complementario agrícola, puede crear una actividad productiva rentable, siempre y cuando se mejore sustancialmente la calidad del efluente hasta ubicarse dentro de los parámetros admitidos por las legislaciones provincial y nacional.

Por último, se plantean algunas recomendaciones para que a futuro se realicen las investigaciones, trabajos de campo y obras proyectadas, con intención de que la posibilidad de reuso de los efluentes tratados pueda transformarse en una realidad.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La ciudad de General Pico, que cuenta con unos 60.000 habitantes, presenta una problemática compleja en relación al vertido de las aguas residuales cloacales e industriales.

El efluente descarga a una planta de tratamiento formada originalmente por lagunas anaeróbicas y facultativas, derivando luego a un cuenco receptor que actúa como laguna de afino.

El área de esta laguna se va modificando de acuerdo a la variación de las precipitaciones y, en menor medida, influenciada por las demás componentes del ciclo hidrológico. En épocas húmedas, el crecimiento de la laguna fue tal que llegó a desbordar el cuenco receptor anegando campos vecinos.

Por otra parte, la planta de tratamiento y el cuenco receptor están ubicados sobre el acuífero que abastece de agua potable a la ciudad, donde la napa freática está muy cerca de la superficie. Esto implica un alto riesgo de contaminación.

El Servicio de Saneamiento Urbano está a cargo de la Cooperativa Regional de Electricidad, de Obras y Otros Servicios de General Pico Limitada (CORPICO). El sistema de tratamiento de líquidos cloacales está compuesto por dos piletas anaeróbicas y dos facultativas, que ocupan una superficie total de 5,2 ha.

De acuerdo al "Estudio Integral para el Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico" del año 1.987, en la actualidad, el sistema resulta insuficiente para un eficiente tratamiento de los efluentes. Las superficies de diseño propuestas en el estudio son las siguientes:

TABLA N° 1

Año	Sup. Lag. Anaer. (ha)	Sup. Lag. Aerób. (ha)	Sup. Total (ha)
1987	1,2	4,0	5,2
1990	3,0	9,7	12,7
2020	6,7	21,3	28,0
2040	10,0	32,0	42,0

Estudios oficiales determinaron que la planta actualmente no funciona adecuadamente, liberando sus efluentes con valores superiores a los establecidos por la normativa legal. (1° Informe-Efluentes Cloacales–Administración Provincial del Agua, 2006)

Con relación al consumo promedio de agua potable en 2.008 fue de 12.305 m³/día, con un porcentaje de cobertura del servicio del 96.87% (22.280 referencias sobre 23.000). Se estima que el 70 % se vierte al sistema cloacal y debe considerarse un 14 % de caudal adicional correspondiente a líquido industrial.

En los últimos años, se han detectado altos valores de nitratos en pozos de captación de agua potable, lo que revela la existencia de una conexión entre las piletas de tratamiento y el acuífero.

Rodeando las piletas, existe un cuenco receptor de aproximadamente 300 hectáreas que actúa como laguna de afino. No existe ningún curso de agua

superficial en la zona de General Pico y las lagunas existentes tienen su origen en las aguas provenientes de desagües pluviales ó cloacales e industriales.

Para estimar los caudales de líquidos tratados, debe tenerse en cuenta el aumento progresivo de la demanda de agua potable, como también la extensión del área servida con conexiones cloacales.

La incorporación del Acueducto Río Colorado al sistema de abastecimiento de General Pico, permitirá satisfacer las demandas de agua potable en su totalidad. En consecuencia, los líquidos tratados se incrementarán en relación con el crecimiento de la población.

Por otra parte, los registros históricos de precipitaciones existentes muestran una tendencia hacia escenarios más húmedos en el futuro.

Otro factor que incrementará el ingreso de agua a la Planta de Tratamiento es la potencial instalación de industrias en el Parque Industrial y Zona Franca, estimando que consumirán elevados caudales de agua industrial.

Todas las variables confluirán en un incremento del volumen de agua que ingresará a los cuencos receptores pos-tratamiento y, considerando que es una cuenca cerrada, las salidas son sólo la evaporación e infiltración.

El aumento sostenido de las superficies de las lagunas sin control, podría comprometer en el futuro a los campos vecinos. Tomar los recaudos necesarios en tiempo y forma, permitiría evitar la realización de costosas e improvisadas obras para mitigar efectos de inundaciones, como canalizaciones, bombeos, etc.

En consecuencia, se considera imprescindible la readecuación de la Planta de Tratamiento de Líquidos Cloacales y la elaboración de un proyecto para la reutilización de las Aguas Tratadas en ellas.

El objetivo principal de este trabajo es plantear una propuesta productiva intensiva para el re-uso de las aguas tratadas, que permita consumir parte de las mismas, manteniendo las cantidades acumuladas en los cuencos en niveles operativos y en condiciones de calidad aceptables.

En el ámbito de la protección medioambiental, se comienza a considerar el ciclo del agua en el transporte de sustancias contaminantes y en la intervención del sistema suelo-vegetación. En consecuencia, se deben elaborar métodos eficaces para la predicción de dichos efectos, introduciendo los costes medioambientales como primer paso.

Asimismo, se aspira a aportar conocimientos al medio y eventualmente a contribuir con los entes encargados de gestionar los recursos hídricos de la Provincia de La Pampa. Para ello, se intentará su difusión pública a través de la Institución Cooperativa y la Universidad Nacional de La Pampa.

1.2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.2.1. Hipótesis

El riego complementario agrícola, puede ser una alternativa válida para la reutilización de las aguas residuales, evitando desbordes, enlagueamientos y contaminación del área circundante al cuenco receptor y del acuífero.

1.2.2. Objetivos

- Determinar diferentes alternativas de uso productivo de efluentes cloacales tratados, teniendo en cuenta su calidad y cantidad.
- Proponer distintas posibilidades de implementación de riego complementario agrícola, captando los caudales del cuenco receptor de aguas tratadas.
- Proponer lugares alternativos de descarga de las aguas tratadas para evitar eventuales desbordes e inundaciones de áreas vecinas.
- Analizar distintos escenarios de caudales derivados del sistema de saneamiento y de las precipitaciones, y determinar las superficies bajo riego necesarias para consumirlos, seleccionando diferentes cultivos.

1.3. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Esta tesis está organizada en 9 Capítulos:

El Capítulo N°1 es la Introducción en la cual se plantea la problemática de los efluentes cloacales en general y la situación de la ciudad de General Pico en particular. Además se definen la Hipótesis y los Objetivos.

En el Capítulo N°2 se desarrolla el Marco Teórico de todos los temas relacionados con el aprovechamiento de aguas residuales tratadas.

El Capítulo N°3 es una descripción de la Metodología y de la Recopilación de Datos utilizados en la tesis.

En el Capítulo N°4 se realiza una Caracterización General del Área en estudio.

En el Capítulo N°5 se procesa la Información analizando todas las variables que interactúan en el sistema agua-suelo-planta al regar con aguas residuales tratadas.

En el Capítulo N°6 de Resultados y Discusión, se evaluaron los cultivos a utilizar y las superficies que potencialmente se podrían regar, como así también los cuidados que se deben tener para evitar contaminaciones y perjuicios en la salud.

El Capítulo N°7 presenta las Conclusiones de la tesis, puntualizando los aspectos generales de la problemática y en particular los argumentos que sostienen la viabilidad de utilizar o no las aguas residuales tratadas en riego agrícola complementario.

El Capítulo N° 8 se esbozan una serie de Recomendaciones a los efectos de orientar acciones que a futuro permitan viabilizar el proyecto de riego agrícola.

El Capítulo N° 9 resume la Bibliografía consultada para la confección de esta tesis.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. NOCIONES DE HIDROLOGÍA

2.1.1. Ciclo Hidrológico

El agua cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre total y cumple numerosas funciones vitales en los seres vivos. Constituye entre el 70% y el 90% del peso corporal de los organismos, cumple funciones de regulación térmica, disolvente de gases y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, permite las reacciones de oxido-reducción, la respiración y la fotosíntesis de las plantas superiores. Es difícil encontrarla en forma pura, a pesar que el agua de lluvia tiene 0.003% de minerales disueltos.

Los caminos por donde circula el agua constituyen el "ciclo hidrológico", que no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. La hidrología estudia el ciclo hidrológico, es decir la circulación ininterrumpida del agua entre la tierra y la atmósfera y cubre todas las fases del agua en la tierra.

La hidrología de una región está determinada por su clima, topografía, geología y vegetación. Asimismo, las actividades humanas invaden gradualmente el medioambiente natural, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico.

Las plantas captan el agua del suelo a través de su sistema radicular, respondiendo a las necesidades hídricas que presentan durante su ciclo, pero cuando la cantidad de agua aportada por las precipitaciones es escasa e inferior a la evapotranspiración potencial, entonces es necesario cubrir este déficit hídrico con riego.

Los seres humanos aran el suelo, irrigan cultivos, fertilizan tierras, bombean aguas subterráneas, arrojan desechos en ríos y lagos, etc., afectando la circulación y calidad del agua en la naturaleza. (ORSOLINI *et al.*, 2000).

Cuando se riega con aguas que contengan sales, se hará un aporte extra de las mismas al sistema, que deberá ser eliminado por lavado. En caso de que las lluvias sean suficientes, éstas pueden también cumplir dicha función. (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000).

La hidrología es aplicada en la resolución de los problemas hidrológicos de cada región, proveyendo una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos. Se la aplica en el análisis de problemas relacionados con el diseño y operación de estructuras hidráulicas, abastecimiento de aguas, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, disminución de contaminación, uso recreativo del agua y protección de la vida terrestre.

En ocasiones, son necesarias obras de gran magnitud que demandan costos apreciables. De allí, la importancia de estudios que expliquen detalladamente el funcionamiento del sistema, a efectos de prever eventuales situaciones críticas y adoptar las medidas de atenuación correspondientes.

La estrategia actual para resolver problemas hidrológicos debe utilizar las teorías generalizables sobre hidrología y, fundamentalmente, el conocimiento de la hidrología local para poder adaptar los conocimientos generales a las condiciones

locales. Sus resultados determinarán distintos planteamientos sobre la gestión hídrica. (ORSOLINI *et al.*, 2000).

2.1.2. Hidrología de Llanuras

Existen diferencias cuantitativas entre los parámetros para cuencas en pendiente y en llanura, debido a los diferentes períodos de tiempo en el que interactúan las variables, entre otras razones.

En los sistemas de llanura (donde se halla emplazada la ciudad de General Pico), no existe una divisoria de cuencas que permita determinar un área de captación para los excedentes de lluvia.

Otro rasgo distintivo de la hidrología de llanuras es la baja energía morfológica del terreno, que produce almacenamientos en todos sus niveles y el predominio del transporte vertical del agua (evaporación, infiltración) sobre el horizontal (escurrimientos). (ORSOLINI *et al.*, 2000).

Durante períodos húmedos los aportes de agua que recibe el suelo por infiltración son mayores, provocando la elevación del nivel freático, que hace disminuir gradualmente la zona de aireación del suelo, pudiendo llegar a situaciones críticas de saturación del terreno y afloramiento en superficie.

En estos casos se ve impedida la infiltración y se presentan las características situaciones de inundación, abarcando extensas áreas y durante prolongados períodos, debido a que no se evacuan mediante escurrimientos superficiales.

De este concepto básico se desprende que la única forma viable para “consumir” los excesos de agua, es a través de sistemas que privilegien la evaporación y/o la evapotranspiración.

2.1.3. Funcionamiento Hidrológico Conceptual

El principal rasgo distintivo de la hidrología de llanuras, es la baja energía morfológica del terreno. En épocas húmedas, ello produce inundaciones temporarias, desarrollo de pantanos y lagunas poco profundas. En épocas secas produce una hidrología superficial desordenada, que puede vincularse a la hidrología subterránea sólo en casos extremos, y es el determinante principal del tipo y distribución de vegetación. (ORSOLINI *et al.*, 2000).

En zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, la gestión del agua debe determinarse en función de estudios hidrológicos, pues proporcionan información cuantitativa sobre los regímenes y procesos que se desarrollan, permitiendo actuar sobre los mismos. Así, se diseñan proyectos relativos a suministro hídrico, a riego, a amortiguar efectos de inundaciones, etc. (IGME); (2003)

La UNEP (1992) define diferentes formas de aridez a partir del cociente Precipitación / Evapotranspiración y de la variabilidad de la lluvia.

Índice de Aridez de la UNEP: $I = P / EP$

Siendo:

P: Precipitaciones Anuales (milímetros)

EP: Evapotranspiración Potencial Media Anual (milímetros)

El valor de este índice permite clasificar el clima predominante en una determinada región, según se observa en tabla N° 2:

TABLA N° 2

I	CLIMA
> 0.65	HÚMEDO
0.65 - 0.5	SUB HÚMEDO - SECO
0.5 - 0.2	SEMIÁRIDO
0.2 - 0.05	ÁRIDO
< 0.05	HIPERÁRIDO

En la ciudad de General Pico, las medias históricas son:

P = 736,7 milímetros anuales (ciclo 1.921 – 2.009).

PE = 1.096.1 milímetros anuales (calculada mediante Fórmula de Penman).

$$\mathbf{I = 0,67}$$

Este valor indica que nos encontramos en el umbral de clima húmedo. En virtud del empirismo de la fórmula y dadas las grandes sequías experimentadas durante los últimos años, el comportamiento hidrológico de la región donde está emplazada la ciudad de General Pico, será considerado como clima sub-húmedo-seco. El área de estudio puede incluirse en la "Región hídrica sub-húmeda seca" (CANO *et al.*, 1980).

2.2. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Se entiende por residuo cualquier producto en estado sólido, líquido o gaseoso procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización que, carente de valor para su propietario, éste decide abandonar. (FUNDAMA, 2009).

Los residuos pueden clasificarse:

Según su estado físico en:

- Sólidos.
- Líquidos.
- Gaseosos.

Según su procedencia en:

- Industriales.
- Agrícolas.
- Sanitarios.
- Residuos sólidos urbanos.

Según su peligrosidad se dividen en:

- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Radioactivos.
- Inertes.

Las aguas residuales pueden ser originadas por:

- Desechos humanos y animales: Son las exoneraciones corporales. Estos desechos son los más importantes, en relación con la salud pública, ya que pueden contener organismos perjudiciales para el hombre.
- Desperdicios caseros: Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza, preparación de alimentos y lavado de la loza. Casi todos contienen jabones y detergentes sintéticos que generalmente contienen agentes espumantes.
- Corrientes pluviales: Las lluvias lavan gran parte de la superficie, al escurrir arrastran polvo, arena, hojas y otros residuos.
- Infiltraciones de aguas subterráneas: en los drenajes colectores el flujo es gravitatorio y muchas veces su caudal es considerable.
- Desechos industriales: Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas negras de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad.

Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas negras de la comunidad ó que dañan las redes y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente a las aguas negras, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado. (MONCHANIN y PENA, 2008).

Aunque existe una diferencia importante entre las aguas cloacales y los efluentes líquidos de la industria, el enfoque del problema es similar, ya que es necesario en ambos casos reducir a límites bien determinados el contenido de materia orgánica de los mismos antes de que sean arrojados a una corriente de agua.

Las aguas cloacales o efluentes domiciliarios están constituidos por una mezcla muy variada de sustancias y de microorganismos. Los efluentes industriales líquidos difieren de las aguas cloacales en que generalmente contienen muy pocos microorganismos y un número limitado de sustratos ó a veces uno solo. (ERTOLA *et al.*, 2009).

Las diferencias de poder contaminante entre un efluente industrial y un agua cloacal, están directamente relacionadas con el contenido de materia orgánica y pueden ser muy considerables.

La medida de biodegradabilidad de un efluente considera dos parámetros:

- D.B.O.: La demanda biológica de oxígeno mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida y se utiliza para determinar su grado de materia orgánica biodegradable. Normalmente se mide transcurridos 5 días y se expresa en mg

O₂/litro. La DBO es baja en aguas no contaminadas, ya que no hay materia orgánica presente para consumir oxígeno.

• D.Q.O.: La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que corresponde a la materia orgánica total de una muestra, que es susceptible de oxidarse por un producto químico altamente oxidante en un medio ácido. Es decir, la DQO, mide la masa orgánica e inorgánica oxidable.

Si comparamos valores conocidos de algunos efluentes, como una vinaza de destilería, suero de queserías o alpechín (un residuo de la industria del aceite de oliva) que presentan valores de DQO de 70.000, 35.000 y 150.000 mg/l respectivamente, con las aguas cloacales que suelen tener valores de 120 a 300 mg/l puede visualizarse la magnitud del problema que presentan algunos efluentes de la industria para su tratamiento. (ERTOLA *et al.*, 2009).

El tratamiento del agua residual consiste en una combinación de procesos y operaciones de tipo físico, químico y biológico, destinados a eliminar el residuo sólido, la materia orgánica y los microorganismos patógenos.

Se requiere una investigación propia de cada industria, poniendo énfasis en los productos y procesos que se emplean, a fin de intuir los contaminantes a esperar y realizar una caracterización del efluente en calidad y cantidad lo más acertada posible para diseñar el tratamiento más apropiado, a fin de cumplir con la legislación de vuelco de acuerdo al cuerpo receptor. (CIFUENTES, 2006).

La elección de un tratamiento adecuado dependerá de:

- a) El conocimiento de los diversos contaminantes.
- b) La caracterización de los distintos efluentes de la industria.
- c) La organización de los desagües y la separación de los efluentes.
- d) La elección entre los diversos métodos de depuración físico químicos y/o biológicos.
- e) La posibilidad de reutilización y recupero del efluente.

El costo del metro cúbico de agua y la necesidad de un uso racional de la misma, incentiva cada vez más a la reducción de efluentes y su recupero para reutilización y/o reciclado. La economía en el uso industrial de agua se puede mejorar mediante la reducción de los volúmenes de aguas residuales, recuperando la misma y en muchos casos los subproductos. (CIFUENTES, 2006).

Una forma de apreciar la incidencia de los efluentes residuales industriales frente a los cloacales, es la denominada Población Equivalente o Habitantes Equivalentes. Es el número de habitantes, cuyo efluente cloacal sería equivalente, en poder contaminante, al efluente industrial que se esté considerando:

$$PE = \frac{V \cdot C}{\mu}$$

donde:

PE : Población Equivalente (hab.)

V : Volumen diario de desagüe industrial (m³/día)

C : valor característico del desagüe (mg/l = g/m³)

μ : Valor característico unitario (g/hab.día)

El parámetro de comparación más frecuente es la DBO_5^{20} pero pueden usarse otros parámetros. La bibliografía indica que la DBO por habitante y por día varía según los hábitos entre 54 y 60 gramos/persona.día y aproximadamente 91 gramos de sólidos suspendidos/persona.día. Existen tablas estimativas para determinar los habitantes equivalentes correspondientes a distintas industrias en función de las unidades de producción o de la materia prima. (CIFUENTES, 2006).

El tratamiento de aguas residuales se puede clasificar de diversas maneras:

Según el Grado de Purificación:

1) Tratamiento preliminar:

Las operaciones del tratamiento preliminar comprenden:

a) Rejas de desbaste y dilaceración, como medios de eliminar objetos de gran tamaño.

b) Desarenado mediante sedimentación. La velocidad del agua a través del desarenador se mantiene lo suficientemente elevada como para evitar la decantación de la materia orgánica.

2) Tratamiento primario:

Los objetivos del tratamiento primario son:

a) Eliminar la materia orgánica e inorgánica mediante decantación.

b) Eliminar la materia flotante y las espumas, mediante barrido superficial.

La decantación permite eliminar aproximadamente entre un 25 y un 50% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del efluente, entre un 50 y un 70% de su materia en suspensión (MES) y un 65% del aceite y grasa que aquel contiene. Se elimina entre un 50% y 90% de los huevos y quistes de parásitos, mientras que sólo un 25% de las bacterias.

3) Tratamiento secundario:

Este tratamiento biológico aerobio lo llevan a cabo diversos microorganismos aerobios, principalmente bacterias que, en presencia de oxígeno, metabolizan la materia orgánica contenida en el agua residual, dando lugar a un mayor número de microorganismos y a una serie de subproductos inorgánicos, principalmente dióxido de carbono, amoníaco y agua. Puede eliminar más del 90% de los coliformes. En general los procesos de fangos activados son los más eficaces para reducir las poblaciones de bacterias y virus de aguas residuales, ya que consigue eliminar más del 90% de las bacterias y entre un 80% y 90% de los virus.

4) Tratamiento terciario:

Cuando se desea obtener un agua residual desprovista de componentes como el nitrógeno, el fósforo, la materia en suspensión no eliminada por decantación, la materia orgánica no biodegradable, los metales pesados o la materia disuelta, es necesario utilizar procesos de tratamiento específicos, frecuentemente designados tratamientos terciarios. Consiste en una coagulación química, una decantación y una filtración que puede llegar a eliminar el 99,5% de los virus del efluente, además reduce la turbiedad hasta niveles bajos, lo que aumenta la eficiencia del proceso de desinfección que se realiza a continuación del filtrado.

5) Desinfección:

Se realiza para eliminar microorganismos patógenos. Pueden aplicarse distintos métodos: Cloración, Ozono y Radiación Ultra-Violeta. El proceso de desinfección consiste normalmente en la inyección de una disolución de cloro, cuya dosis depende, entre otros factores, del contenido microbiano del agua residual, aunque su valor oscila entre 5 y 10 mg/l (ASANO *et al.*, 1982).

Según la Naturaleza del Proceso de Tratamiento en:

1) Físicos:

a) Sedimentación: el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del dispositivo construido especialmente para tal fin. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

b) Flotación: como contraria a la deposición, la flotación es un proceso de separación sólido-líquido o líquido-líquido, la cual es aplicada para partículas cuya densidad es menor que el líquido en la que se encuentran.

c) Filtración: puede definirse como la separación de uno o más elementos sólidos de un elemento fluido (líquido o gas), mediante el paso de la mezcla a través de un elemento poroso filtrante, llamado filtro.

d) Adsorción: la adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia de una fase fluida y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida).

e) Extracción: es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interfase. (MONCHANIN y PENA, 2008).

2) Químicos:

a) Floculación y coagulación: facilitan la retirada de las partículas tanto en suspensión como las coloidales. La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

b) Precipitación Química: mediante la adición de reactivos, los contaminantes solubles se transforman en formas insolubles o de una menor solubilidad, por precipitación química. Es la tecnología de pre-tratamiento más común para reducir la concentración de metales, y sirve también para eliminar la dureza del agua.

c) Ósmosis Inversa: consiste en aplicar una presión suficiente a un fluido concentrado para vencer la presión osmótica y forzar el agua a pasar a través de una membrana semipermeable.

d) Intercambio Iónico: supone un intercambio de una sustancia o ión por otra, cuando los iones se concentran en una superficie debido a la atracción electrostática en los lugares cargados de la superficie.

3) Biológicos:

a) Fangos activados: la planta de fangos activos trabaja con un proceso continuo, en el cual el agua residual se estabiliza biológicamente en tanques o balsas de activación, las que necesitan un aporte de oxígeno para la acción metabólica de los microorganismos. Por esta razón, se debe mantener condiciones aerobias mediante burbujeo del agua o agitación. El mecanismo biológico utilizado es el cultivo bacteriano en forma de flóculos que se desarrolla alimentándose con el agua a depurar (materia orgánica). Se logran reducciones de la DBO₅ del orden del 75 al 90% para el agua residual.

b) Filtro biológico: el filtro biológico (o filtro percolador) está formado por un reactor, en el cual se coloca un material de relleno (plástico especialmente configurado, de alta superficie y baja densidad) sobre el que crece una película de microorganismos aerobios. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo y, a medida que el líquido desciende a través del relleno, entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos.

c) Biodiscos: bastante similar a los fangos activos, pero con mejor rendimiento. Se compone de un eje sosteniendo discos de plástico con gran superficie, parcialmente sumergidos en una pileta y cubiertos de una película de microorganismos. Un motor hace que el eje gire y las partículas sucesivamente toman materia orgánica y entran en contacto con la atmósfera (oxigenación).

d) Lagunaje: la naturaleza crea las condiciones más idóneas de auto-depuración de las lagunas. En superficie la materia orgánica disuelta es asimilada o metabolizada por bacterias aerobias o anaerobias facultativas. Esta masa pasa a constituir la alimentación de las bacterias.

Las bacterias, al degradar la materia orgánica, liberan anhídrido carbónico, amoníaco y sales minerales, permitiendo el desarrollo de algas. Éstas fijan el anhídrido carbónico y liberan el oxígeno, que será utilizado para el crecimiento bacteriano. Sin embargo, cuando las algas mueren, producen una carga secundaria en la laguna. Otra desventaja es que son menos eficaces en invierno.

e) Digestión anaerobia: tratamiento más conveniente para aguas residuales fuertemente cargadas de materia orgánica. Los organismos anaerobios, cerrados en un reactor para evitar el contacto con el aire, permiten reducir el volumen y descomponer la materia orgánica putrescible contenida en las aguas residuales. (MONCHANIN y PENA, 2008).

El tratamiento de aguas residuales urbanas genera enormes volúmenes de lodos orgánicos altamente putrescibles, que se someten a procesos de espesamiento, digestión y deshidratación, adquiriendo así la categoría de biosólidos o barros residuales, debiendo ser tratados para completar el ciclo.

La composición típica de un biosólido residual presenta distintos contenidos de materia orgánica, nutrientes, fracción inerte (arena, limo, arcilla), concentración de contaminantes (metales pesados, químicos y tóxicos, etc.) y de

microorganismos. Depende de las características de las aguas residuales (domésticas e industriales), del proceso de tratamiento realizado y del tratamiento que se realiza al barro (digestión, secado, etc.).

Los biosólidos contienen 90-99% de agua y una importante cantidad de materia orgánica biodegradable que se puede reducir por sistemas aeróbicos y anaeróbicos. La deshidratación de biosólidos es un proceso complejo y costoso.

Dentro de las alternativas disponibles para la disposición final de los biosólidos se destaca el reciclaje del residuo como fertilizante de suelos. La persistencia de algunos metales y su ulterior magnificación con riesgos para la salud humana y medioambiental, imponen una activa vigilancia de todos los procesos de utilización y disposición final. (VÉLEZ ZULUAGA, 2007).

2.3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES REGENERADAS

En muchas regiones áridas y semiáridas del mundo se utiliza agua residual regenerada para regar, proporcionando un importante ahorro de agua. La reutilización de aguas residuales debe considerarse un componente intrínseco del ciclo natural del agua. (ASANO *et al.*, 1982).

En una ciudad, las aguas residuales domésticas, de industrias, de escorrentía y de infiltración son derivadas mediante redes cloacales y pluviales a plantas de tratamiento. Los caudales relativos de cada uno de estos tipos de aguas varían de una población a otra, dependiendo del número y tipo de establecimientos comerciales e industriales existentes en cada una, de las características de los sistemas de desagües, del precio del agua potable de red y de la fiabilidad del abastecimiento.

La composición del agua residual viene definida por las cantidades reales de los componentes físicos, químicos y biológicos presentes en ella. La vigilancia de la calidad del agua residual se lleva a cabo generalmente mediante diversos parámetros globales de contaminación, tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la materia en suspensión (MES) y la demanda química de oxígeno (DQO). (ASANO *et al.*, 1982).

Un agua residual puede contener organismos patógenos de origen fecal, tales como bacterias, virus, protozoos y helmintos. En zonas en las que el vertido de las heces humanas se realiza en forma sanitariamente inadecuada, es frecuente que se registren enfermedades causadas por estos organismos, tales como fiebre tifoidea, salmonella, hepatitis y poliomielitis.

Esto sucede habitualmente para los parásitos y bacterias, pero es muy poco probable para los virus. Por lo tanto los parásitos y las bacterias son las que pueden provocar daños importantes en la salud y en la higiene. Por este motivo siempre es mejor que estos organismos permanezcan más tiempo en los suelos que en las cosechas (AL-RADAIDEH, 1992).

En terrenos y sedimentos con granulometría fina (entre 0,5 y 5 mm), estos organismos quedan retenidos por cuestiones mecánicas. En los terrenos y en los sedimentos con granulometría gruesa pueden quedar fijos o ser transportados mediante el flujo preferencial y flujo favorecido por las partículas, a pesar de su gran tendencia a ser adsorbidos. (IGME, 2003).

En razón del número relativamente escaso de micro-organismos patógenos presentes, tanto en el agua de abastecimiento público como en el agua residual, y de la dificultad práctica para determinarlos, se utilizan bacterias del grupo coliformes, mucho más numerosas y fáciles de determinar, como indicadores de la presencia de entero-patógenos en el efluente tratado y en el agua regenerada.

Sin embargo, los parámetros de calidad del agua que mayor importancia tienen cuando se trata de utilizarla para riego agrícola o de jardinería son aquellos elementos y componentes químicos que afectan al crecimiento de las plantas o a la permeabilidad del suelo.

De todas las propiedades de las aguas residuales, el contenido de sales neutras, metales pesados, materia orgánica y organismos patógenos son los más perjudiciales para el suelo, la cosecha y el agua subterránea. Por ello, debe realizarse un control previo de los impactos que ocasionarían en los sistemas sub-superficiales.

Respecto a la penetración en las capas freáticas, es ampliamente aceptado el criterio de que el terreno es un filtro eficaz frente a los micro-organismos patógenos (incluidos los virus). Si bien, sus concentraciones en el agua residual tratada no son elevadas, hay ciertos micro-contaminantes como zinc, cadmio, níquel, plomo y cobre, que tienden a acumularse en el suelo. (PETTYGROVE *et al.*, 1983).

No obstante, el riego con agua regenerada debe realizarse con gran prudencia, ya que las bacterias, protozoos, helmintos o gusanos parásitos, huevos de nemátodos (gusanos) y virus pueden permanecer viables en el suelo durante varios meses. El contacto directo con estos agentes aumenta la probabilidad que se produzcan infecciones intestinales ó urogenitales, aunque la transmisión de la mayoría de las enfermedades causadas por los organismos presentes en el agua residual tiene lugar a través de la vía oral-fecal. (PETTYGROVE *et al.*, 1983).

El principal parámetro de calidad que determina la idoneidad de un agua residual para riego agrícola o de jardinería es el contenido de sustancias inorgánicas o minerales disueltos. El contenido de sustancias minerales disueltas de un agua residual está determinado por el correspondiente contenido en el agua de abastecimiento público y por el aumento producido durante su utilización para usos domésticos. (ASANO *et al.*, 1982).

El proceso de tratamiento necesario para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente regeneración y el resultado de dicho proceso agua regenerada. De acuerdo con su significado etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad que tenía antes de ser utilizada.

La tecnología de tratamiento a aplicar es función del tamaño de la población, normativas existentes, capacidad del cuerpo receptor y terrenos disponibles para evacuarlos, requerimientos de operación y mantenimiento, destino de los líquidos tratados y riesgo de impacto ambiental. El objetivo principal de una planta de tratamiento de agua residual es reducir los riesgos sanitarios y evitar la contaminación de las aguas. (PETTYGROVE *et al.*, 1983).

Los componentes de interés en el tratamiento de agua residual y en la utilización para riego con agua residual regenerada, se detallan en Tabla N° 3 (ASANO *et al.*, 1982):

TABLA N° 3: Componentes de Interés en el Tratamiento de Efluentes

Componente	Parámetro de Calidad	Razones de interés
Materia en Suspensión	Materia en Suspensión, incluyendo la porción Volátil y la Inorgánica	La materia en suspensión puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en un medio acuático. Una cantidad excesiva de materia en suspensión puede obstruir el sistema de riego.
Materia Orgánica Biodegradable	Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno	Estas sustancias están compuestas principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el medio ambiente, su descomposición biológica puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto en las aguas receptoras y a la aparición de condiciones anaerobias.
Patógenos	Organismos indicadores, coliformes totales y coliformes fecales.	Los organismos patógenos presentes en un agua residual, tales como las bacterias, los parásitos y los virus, pueden producir numerosas enfermedades transmisibles.
Elementos Nutritivos	Nitrógeno, Fósforo, Potasio	El nitrógeno, el fósforo y el potasio son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas, y su presencia en el agua aumenta su valor para riego. Cuando se vierte nitrógeno o fósforo en medio acuático, puede producirse el desarrollo de formas de vida acuática indeseables. Cuando se vierte cantidades excesivas de estos elementos en el terreno, el nitrógeno puede llegar a contaminar las aguas subterráneas.
Substancias Orgánicas Estables o Refractarias al Tratamiento.	Compuestos específicos, tales como fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados	Estas sustancias orgánicas ofrecen gran resistencia a los métodos convencionales de tratamiento de agua residual. Algunas de ellas son tóxicas en el medio ambiente y su presencia puede limitar la idoneidad de las aguas residuales para el riego.
Actividad del Ión Hidronio	pH	El pH del agua residual afecta la solubilidad de los metales así como la alcalinidad del suelo. El intervalo normal para el pH de un agua residual se sitúa entre 6,5 y 8,5, aunque la presencia de agua residual industrial puede modificarlo en forma muy significativa.
Metales Pesados	Elementos conocidos, tales como Cd, Zn, Ni y Hg	Algunos metales pesados se acumulan en el medio ambiente y son tóxicos para los animales y las plantas. Su presencia en el agua residual puede limitar su idoneidad para el riego.
Substancias Inorgánicas Disueltas	Materia Disuelta Total, Conductividad Eléctrica, Elementos concretos como Na, Ca, Mg, Cl y B	Un grado excesivo de salinidad puede perjudicar ciertos cultivos. Determinados iones como los cloruros, el sodio y el boro son tóxicos para ciertas plantas. El sodio puede causar problemas de permeabilidad en los suelos.
Cloro Residual	Cloro Libre y Cloro Combinado	Una concentración excesiva de cloro libre, superior a 0,05 mg/l, puede provocar quemaduras en las puntas de las hojas y dañar algunas especies de plantas sensibles. No obstante, la mayor parte del cloro presente en un agua residual es cloro combinado, que no perjudica a las plantas. Existe cierta preocupación por los efectos tóxicos derivados de los compuestos organo-clorados que puedan llegar a contaminar las aguas subterráneas.

El grado de tratamiento exigido para que el agua residual regenerada pueda utilizarse para riego agrícola y de jardinería es función de las características del

suelo, del tipo de cultivos regados, del tipo de sistema de distribución y de irrigación utilizados y del grado de exposición de público al contacto con el agua.

TABLA N° 4: Criterios de Calidad Aplicados a la Regeneración del Agua para Riego (CROOK, 1990)

Nivel de Tratamiento	Concentración de Coliformes Totales CT/100ml	Tipo de Utilización
Primario	-----	Riego superficial de frutales y viñedos
Oxidación y desinfección	≤ 23	Pastos para ganado productor de leche. Lagos ornamentales. Riego de jardinería como campos de golf y cementerios.
Oxidación y desinfección	$\leq 2,2$	Riego superficial de cultivos comestibles en los que no existe contacto entre el agua y la parte comestible.
Oxidación, coagulación, clarificación, filtración y desinfección	$\leq 2,2$ máximo de 23	Riego por aspersión de cultivos comestible. Riego de jardinería, como parques de recreo y jardines.

Se considera que un tratamiento primario es suficiente cuando se trata de utilizar el agua residual para regar cultivos que no han de estar destinados al consumo humano, o también cuando se trata de regar árboles frutales, viñedos y algunos cultivos destinados a la producción de alimentos elaborados.

El tratamiento secundario es el nivel de tratamiento previo exigido cuando existe un riesgo moderado de que el público pueda entrar en contacto con el agua residual. Consiste en la eliminación de la materia orgánica biodegradable, tanto disuelta como coloidal, mediante un proceso biológico aerobio.

En casos en los que existe una gran posibilidad de que el público pueda entrar en contacto con el agua regenerada o con restos de algunos de sus componentes, el objetivo de la selección del proceso de tratamiento es reducir al mínimo la probabilidad de que las personas entren en contacto con virus entéricos.

2.4. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL A GRAN ESCALA

Aproximadamente el 70% del total de agua usada en el mundo se aplica para la irrigación agrícola, incluyendo desde cultivos hortícolas hasta cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos. De modo que, la reutilización de las aguas residuales tratadas para irrigación agrícola y parques reduciría tanto la extracción de fuentes de agua naturales, como la descarga de aguas residuales al ambiente.

La reutilización de las aguas residuales tratadas en la agricultura es una práctica común en los países mediterráneos y hay un considerable interés por sus efectos

a largo plazo sobre los cultivos destinados al consumo humano. Las aguas residuales han sido recicladas para la agricultura por siglos en ciudades tales como Berlín, Londres, Milán y París, sin embargo, en estos últimos años, han ganado importancia en regiones con escasez de agua.

En los países desarrollados hay programas integrados para la reutilización de las aguas residuales. Estos programas son desarrollados por instituciones públicas y abarcan políticas para mejorar la administración de las aguas residuales, que pueden ser ejecutadas antes que se generen las mismas, mientras se están utilizando, o después de que se hayan regado los cultivos y los productos se preparen para la venta y el consumo.

En México cerca de 260.000 hectáreas se irrigan con aguas residuales, sobre todo no tratadas. En la mayor parte de los casos, los granjeros irrigan con aguas residuales diluidas, no tratadas, o en parte tratadas. La falta de tratamiento y de manejo correcto de las aguas residuales genera efectos adversos sobre la salud; exponiendo a los granjeros y a sus familias a los riesgos para la salud que implican parásitos, virus y bacterias.

El reuso agrícola y de jardinería constituye el aprovechamiento más extendido del agua regenerada en áreas desarrolladas con gran vocación agrícola como California y de jardinería como Florida, caracterizadas por un déficit creciente de recursos hídricos, de forma regional o estacional. Actualmente, en los Estados Unidos la reutilización del agua implica el 1.5% del consumo total de agua.

En otros países desarrollados, por ejemplo Israel, los programas integrados para la reutilización de las aguas residuales han permitido que las mismas alcancen el 20% de los recursos hídricos usados en la agricultura.

En Grecia, que sufre ciclos periódicos de escasez de agua cada 5 -7 años debido a las sequías, se estima que el 83% de la demanda de agua total se utiliza para el riego de cultivos, aplicada sobre un 40% de su área agrícola.

La reutilización supone el aprovechamiento directo de efluentes, con un mayor o menor grado de regeneración, mediante su transporte hasta el punto de utilización a través de un conducto específico. La implantación de un proyecto de regeneración de agua residual tiene dos requisitos esenciales y complementarios:

- Definir los niveles de calidad adecuados para cada uno de los posibles usos que se piense dar al agua.
- Establecer los procesos de tratamiento y límites de calidad del efluente, recomendados para cada uno de los usos previstos.

La elaboración y la aprobación de estos dos aspectos técnicos de la regeneración de agua constituyen generalmente la faceta más discutida de todo programa de reutilización, debido a la dificultad de establecer una relación causal entre la calidad del agua y los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente.

Las características del agua que tienen importancia en el riego agrícola y de parques son los elementos químicos y los compuestos específicos que afectan el crecimiento vegetal o la permeabilidad del suelo, como la salinidad, iones específicos, nutrientes y contenido microbiológico.

Históricamente, la calidad del agua de riego ha sido determinada por la cantidad y el tipo de sal presente en sus fuentes. Aunque los cultivos varíen considerablemente en su capacidad de tolerar condiciones salinas (MAAS y GRATTAN, 1999), generalmente como la salinidad aumenta en las aguas residuales tratadas, es probable que en determinado suelo, agua y cultivo los problemas se incrementen.

El uso de largo plazo de las aguas residuales recuperadas para riego no es generalmente posible sin drenaje adecuado. Donde la salinidad del agua del drenaje excede los umbrales de peligrosidad del cultivo, el agua se puede mezclar con agua dulce. La mezcla puede ser hecha antes o durante el riego, le permite a los granjeros ampliar el volumen de agua disponible (RHOADES, 1999; OSTER y GRATTAN, 2002).

La toxicidad debido a un ión específico ocurre cuando ese ión es tomado y acumulado por la planta en cantidades que dan lugar a daño o a la disminución de la producción. Los iones que mayoritariamente preocupan en las aguas residuales tratadas son sodio, cloruro, y boro.

La fuente de boro es generalmente detergentes del hogar o descargas de las plantas industriales. El cloruro y el sodio también aumentan durante el uso doméstico, especialmente cuando se utilizan los suavizadores de agua.

Además de sus efectos sobre la planta, el sodio del agua de riego puede afectar a la estructura del suelo y reducir la tasa de infiltración, impidiendo el suministro de agua suficiente al cultivo para su buen crecimiento.

El problema de permeabilidad ocurre generalmente a pocos centímetros de la superficie del suelo y para prevenirlo, al regar exclusivamente con agua sódica, se necesitan enmiendas químicas o biológicas. Esto representa un gran problema para el planeamiento de proyectos de reutilización.

Los nutrientes presentes en aguas residuales tratadas proporcionan valor fertilizante al cultivo o la producción agraria, favoreciendo perceptiblemente su crecimiento. En ciertos casos, su exceso supera las necesidades de la planta y causa problemas relacionados con la madurez retrasada ó desigual del crecimiento vegetativo y reduce su calidad.

Las aguas residuales contienen a menudo una variedad de agentes contaminantes, como sales, metales, metaloides, patógenos, drogas residuales, compuestos orgánicos, compuestos para trastornos endocrinos y residuos activos de productos para el cuidado personal. Ninguno de estos componentes puede dañar la salud humana y el ambiente. (QADIR *et al.*, 2007)

El grado de acumulación de metales pesados en los suelos y las plantas es un problema que impacta directamente sobre la salud del consumidor y la calidad ambiental. La tolerancia de las plantas a ellos varía con la especie, situación que debe tenerse en cuenta al regar con aguas residuales, para evitar toxicidades.

Las pautas microbianas de la calidad del agua para irrigación fueron establecidas (WHO, 1973) pero rebajados en 1.989 a 1.000 coliformes fecales por 100 ml, basados en los resultados de estudios epidemiológicos.

Además, como pauta de calidad para nematodos intestinales era recomendado menos de 1 huevo del nematodo intestinal por litro (WHO, 1989). Las últimas

pautas (WHO, 2006) para el uso seguro de las aguas residuales en agricultura se han revisado considerablemente, dependiendo del cultivo y tipo de riego.

Para países en desarrollo que no tienen normas propias para riego con efluentes, se pueden utilizar los Lineamientos de Engelberg de 1.985 establecidos por un Comité de Expertos de la Organización Mundial de la Salud y del Banco Mundial.

Abordan el aspecto epidemiológico, los aspectos sociales y de comportamiento. Además, señalan métodos apropiados de tratamiento de aguas residuales, lineamientos de calidad apropiada y tratamiento de excretas para la agricultura.

Los lineamientos de la OMS establecen para el riego restringido (cereales, cultivos industriales, cultivos forrajeros, pasto y árboles) normas para los nematodos intestinales (menos de un huevo por litro) con el fin de proteger la salud de los obreros agrícolas.

En Argentina, estos lineamientos han sido adoptados por las autoridades federales y recomendados por el CoFAPyS (Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento) en la presentación de proyectos para financiamiento internacional, en virtud de no existir normativas desarrolladas en el país.

Por otra parte, las guías de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) establecen:

TABLA N° 5: Condiciones que deben cumplir las aguas reutilizadas para riego agrícola cuando procedan de aguas residuales urbanas o de industrias cuyos vertidos son análogos a las de las urbanas

TIPO DE CULTIVO	Tratamiento Indicativo	Nematodos Intestinales	Calidad del Agua
1. Riego de césped y plantas ornamentales con contacto directo (parques públicos, campos de golf, etc.)	Secundario Filtración o tratamiento equivalente. Desinfección	< 1	pH 6-9 SS 10 mg/l DBO ₅ < 10 mg/l Coli fecal < 10/100ml Cl ₂ residual > 0,6 mg/l
2. Riego de Cultivos para consumo en crudo	Secundario Filtración o tratamiento equivalente. Desinfección	< 1	pH 6-9 SS 10 mg/l DBO ₅ < 10 mg/l Coli fecal < 10/100ml Cl ₂ residual > 0,6 mg/l
3. Riego de césped zonas arbóreas y otras áreas donde el acceso al público está restringido o es infrecuente	Secundario Desinfección	< 1	pH 6-9 SS 30 mg/l DBO ₅ < 30 mg/l Coli fecal < 200/100ml Cl ₂ residual > 0,3 mg/l
4. Riego de huertos y frutales así como hortalizas para consumo cocidas (no deben recogerse frutos del suelo)	Secundario Desinfección	< 1	pH 6-9 SS 30 mg/l DBO ₅ < 30 mg/l Coli fecal < 200/100ml Cl ₂ residual > 0,3 mg/l
5. Riego de cereales, cultivos industriales, forraje, pastos, etc.	Secundario Desinfección	< 1	pH 6-9 SS 45 mg/l DBO ₅ < 45 mg/l Coli fecal < 500/100ml Cl ₂ residual > 0,1 mg/l

El cloro residual total se evaluará después de un tiempo de contacto mínimo de 3

minutos. (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000).

Los métodos de análisis y las frecuencias mínimas de muestreo y medición serán las siguientes:

TABLA N° 6: Métodos de análisis y Frecuencias mínimas de muestreo

	Métodos de análisis de referencia	Frecuencia
Nematodos intestinales	Métodos de Teichman (sedimentación, centrifugación, conteo al microscopio)	Semanal
Coliformes fatales	Recuento NMP o filtración y cultivo con identificación de colonias	Semanal
PH	Electrometría	Mensual
Sólidos en suspensión	Método por filtración sobre membrana porosa 0,45 y secado a 105°C	Trimestral
DBO₅	Método de Winkler con incubación a 20°C	Trimestral
Cloro residual	Espectroelectrometría de absorción	Mensual

Se considera que la calidad del agua es conforme con las condiciones requeridas, si los análisis de las muestras de un mismo punto durante un año cumplen los siguientes puntos:

- a.- Para Nematodos intestinales el 95% de las muestras no exceden el valor límite.
- b.- Para Coliformes fecales el 95% de las muestras no exceden el valor límite.
- c.- Para el conjunto de los restantes parámetros el 90% de las determinaciones no exceden el valor límite.

TABLA N° 7: Condiciones que deben cumplir las aguas reutilizadas para riego agrícola cuando proceden de aguas residuales industriales

Elemento	mg/l	Métodos de Análisis	Frecuencia
Aluminio	2	Absorción atómica o espectroelectrometría	Semestral
Arsénico	1	Idem	Semestral
Boro	2	Idem	
Cadmio	0,05	Absorción atómica	Semestral
Cromo III	2	Absorción atómica o espectroelectrometría de absorción Molecular	Semestral
Cromo IV	0,2	Idem	Semestral
Hierro	10	Idem	Semestral
Manganeso	10	Idem	Semestral
Niquel	2	Absorción atómica	Semestral
Mercurio	0,1	Idem	Semestral
Plomo	0,5	Idem	Semestral
Selenio	0,02	Idem	Semestral
Estaño	10	Idem	Semestral
Cobre	5	Absorción atómica o espectroelectrometría de absorción Molecular	Semestral
Cinc	10	Idem	Semestral

Se considerará criterio inmediato de disconformidad la ausencia de cloro residual. (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000).

Para el caso de los residuales industriales, además de las condiciones que figuran en la tabla N° 7, las normas de la FAO establecen que los metales contenidos en las aguas reutilizadas no sobrepasarán los límites que se expresan en Tabla N° 8 junto con los métodos de análisis y las frecuencias mínimas de muestreo y medición. (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000).

Se considerará que la calidad de aguas es conforme con las condiciones requeridas, si los análisis de muestra en un mismo punto durante un año cumplen los siguientes puntos:

a) El 95% del conjunto de las determinaciones no exceda el valor límite de los parámetros.

b) Las determinaciones que excedan del valor límite de los parámetros no sobrepasen en más del 50% dicho límite, siendo este el criterio inmediato de disconformidad.

TABLA N° 8: Guías recomendadas de calidad microbiológicas del agua de desperdicio para uso en agricultura (FAO 1.992)

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Nematodos intestinales (media aritmética N° de huevos/l)	Coliformes fecales (Media geométrica N° de huevos/100ml)	Tratamiento requerido (para lograr la calidad microbiológica exigida)
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campo de deportes y parques públicos	Trabajadores consumidores público	< = 1	< = 1000	Una serie de piletas de estabilización diseñadas para alcanzar la calidad microbiológica indicada o un tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos industriales, cereales y forrajeros praderas y árboles	Trabajadores	< = 1	No hay estándares recomendados	Retención en piletas de estabilización por 8-10 días o remoción de helmintos o Colifecales equivalente
C	Riego localizado en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	No se aplica	No se aplica	Pre tratamiento requerido de acuerdo a la tecnología de riego, pero no menos que una sedimentación primaria

El aprovechamiento de un agua regenerada requiere normalmente:

- Transporte desde la planta de regeneración hasta el lugar de utilización.
- Almacenamiento o regulación temporal para adecuar el caudal suministrado por la planta a los caudales consumidos.
- Definición de normas de utilización del agua que permitan minimizar los posibles riesgos directos o indirectos para el medio ambiente, las personas que la utilizan, la población circundante al lugar de uso y los consumidores de cualquier producto cultivado con el agua regenerada. (MUJERIEGO, 2006).

Con objeto de obtener un agua regenerada de la mejor calidad posible, un criterio generalmente adoptado es recurrir a efluentes de carácter urbano, como primera alternativa, dejando los efluentes de tipo industrial sólo para casos excepcionales.

Siguiendo este criterio, la reutilización suele plantearse con los caudales de aguas brutas, que tienen una mayor componente de agua doméstica.

Asimismo, de experimentos realizados a escala real para determinar la eficacia de los rayos UV y el Cloro (solos y en combinación) en la inactivación de diversos indicadores y de microorganismos patógenos, se concluyó que la desinfección con rayos UV y cloro produjo un agua recuperada de mejor calidad y más confiable para la protección de la salud pública.

Un problema posible en la reutilización de las aguas residuales es el excesivo cloro residual del efluente tratado. El efluente se esparce en el follaje de la planta, cuando el contenido de cloro residual es menor que 1 mg/l no debería afectar al follaje, pero cuando es superior a 5 mg/l, pueden ocurrir daños severos en la planta.

Para asegurar que a la planta de regeneración no lleguen contaminantes imprevistos que puedan perjudicar o impedir el proyecto de reutilización, es esencial establecer un riguroso programa de control de vertidos, que incluya desde una Ordenanza de vertido hasta un programa de educación ciudadana.

El transporte de agua regenerada desde la planta de tratamiento hasta el punto de reutilización es una exigencia de cualquier proyecto de reutilización. Esto requiere con frecuencia la construcción de un emisario terrestre y de una nueva o doble red de distribución, especialmente cuando se trata de reutilización en zonas que no disponían de una red de riego específica.

Por motivos económicos, la implantación de esta red de distribución del agua regenerada suele realizarse de forma progresiva, empezando por los grupos de usuarios con mayor consumo total de agua y extendiéndola después a nuevas zonas urbanas o con menores consumos de agua.

Para efectuar un riego eficaz es necesario disponer de un caudal relativamente constante de agua residual, lo que implica necesariamente un sistema de regulación de caudales, o de un breve almacenamiento del efluente tratado.

La reutilización planificada del agua para riego agrícola y de jardinería ofrece una garantía de suministro muy superior a la de las fuentes convencionales y constituye el aprovechamiento más extendido del agua regenerada, tanto para cultivo hortícola (consumo directo) como para cultivos con procesamiento posterior, cereales, cítricos y viñedos. El riego puede realizarse por aspersión, micro-aspersión, goteo ó inundación. (MUJERIEGO, 2006).

El hecho de que la reutilización de un agua suele ocasionar un contacto directo con personas, animales o plantas, que pueden verse afectados en su salud o desarrollo, hacen que la fiabilidad de las plantas de regeneración de agua deba ser elevada y constituya un elemento esencial tanto en su concepción como en su explotación y mantenimiento.

Atendiendo al posible contacto o ingestión del agua regenerada por parte de las personas, la reutilización se clasifica en: reutilización para uso potable y reutilización para uso no potable. La primera categoría incluye los usos en que el agua regenerada puede ser ingerida por las personas y la segunda engloba todos los demás.

Es importante señalar que los proyectos de regeneración para usos no potables son los que han adquirido mayor desarrollo en numerosas partes del mundo, donde han alcanzado excelentes cotas de fiabilidad y de aceptación por parte de los usuarios y del público en general. Esto es especialmente aplicable en países desarrollados, donde los recursos hídricos son limitados y la protección ambiental es una prioridad destacada.

El proceso necesario para obtener un agua regenerada que satisfaga criterios de calidad similares a los propuestos por la United States Environmental Protection Agency (USEPA-2004) para el riego de jardinería de zonas públicas, sin ningún tipo de restricción en cuanto a exposición y contacto del público con el agua regenerada, consta fundamentalmente de cuatro elementos principales:

- La implantación de un control de vertidos a la red de saneamiento que asegure la ausencia de contaminantes que puedan impedir la reutilización del agua regenerada.
- Un tratamiento biológico secundario capaz de producir un efluente con un contenido de materia en suspensión inferior a 10-20 mg MES/l y valores comparables de DBO₅.
- Un tratamiento terciario destinado a eliminar la materia en suspensión del efluente secundario y desinfección completa. Este proceso de tratamiento constituye propiamente la fase de regeneración del agua. El proceso de regeneración puede adoptar alternativas naturales ó convencionales y muy tecnificadas, que pueden implantarse en instalaciones centralizadas ó en otras descentralizadas, muy próximas al punto de uso.
- Un depósito regulador de los caudales de agua regenerada, a fin de adecuar la producción de la planta a la demanda de uso, asegurando así una cierta reserva de agua regenerada.

Los datos observados permiten concluir que las aguas residuales tratadas se pueden utilizar para irrigación tomando en consideración lo siguiente:

- Se necesitan continuos controles de laboratorio de las aguas residuales para prevenir toda indeseable acumulación de metales tóxicos en el suelo y las plantas.
- Los métodos de tratamiento de aguas residuales se deben mejorar para producir efluentes que tengan una carga microbiológica dentro de los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (WHO-Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water, 2006).

2.5. EFECTOS AMBIENTALES

Los efectos en el medio ambiente derivados del tratamiento, reuso y/o evacuación de los efluentes domiciliarios e industriales, tienen que ver con el anegamiento en la zona de descarga, la contaminación atmosférica y de acuíferos.

Una laguna de afino puede clasificarse como "lago urbano", por su escasa profundidad de unos pocos metros. Estos lagos se caracterizan por ser altamente fértiles (gran cantidad de nutrientes) y generalmente se clasifican como eutróficos (dominados por macrófitas y algas asociadas).

Pueden recibir cantidades importantes de material erosionable, que determinan una sedimentación más rápida, especialmente si se encuentran cerca de la descarga de efluentes, pudiendo ocasionar coloración del agua.

Debido a grandes cantidades de sedimentos suspendidos y al desarrollo de algas planctónicas, su color varía de verde a marrón. Ocasionalmente, presentan floraciones densas de algas que pueden originar una capa superficial ofensiva y molesta. La estratificación térmica, si se desarrolla, es de corta duración. (FRANKLIN CONSULTORA, 1990).

Son capaces de detoxificar muchos contaminantes (metales pesados, pesticidas, etc.) como resultado de la interacción del contaminante con el material suspendido y con partículas depositadas, atenuando el deterioro de la calidad del agua.

La calidad general del agua en estos lagos es normalmente clasificada como pobre y el mayor problema que posee es su excesiva fertilización. Los nutrientes crecen continuamente, consecuencia del tipo de aportes y salidas de líquidos. (FRANKLIN CONSULTORA, 1990).

Si eventualmente, fueran derivados líquidos cloacales deficientemente tratados, además de representar un potencial riesgo de contaminación para el ecosistema, originarían emanación de malos olores, afectando a los vecinos de la zona.

Las inundaciones y sequías afectan en forma diferente a las especies de una comunidad. Las inundaciones son perturbaciones naturales que causan efectos apreciables sobre las comunidades de plantas, animales y microorganismos.

Desde el punto de vista socio-económico alcanzan notoriedad por sus consecuencias negativas (niveles de agua que no permiten el tránsito por las rutas, pérdidas de cosechas, reducción de áreas cultivables, etc.). Pero, en ocasiones los anegamientos producen beneficios sobre la vegetación y el ganado, como el caso de los pastizales naturales de las llanuras pampeanas, principal sustento para la actividad ganadera y donde se concentra la mayor extensión de hábitats relictuales para la vida silvestre. (CHANETON, 2006).

El riego de cultivos agrícolas con aguas residuales urbanas es una opción muy atractiva porque se requieren grandes cantidades de agua generalmente no disponibles en zonas de escasez como la analizada. Asimismo, estas aguas contienen materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.

Los requisitos de calidad de agua para riego de cultivos agrícolas son flexibles y se considera al riego como un tratamiento terciario de las aguas residuales, que además reduce considerablemente la necesidad de su descarga a cuerpos receptores. (BENTÁL, *et al.*, 1998). El suelo habitualmente compuesto por combinaciones de arena, limo y arcilla se comporta como un verdadero filtro biológico natural. (PEPE, 2008).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) indica en sus criterios de diseño una distancia mínima entre el fondo de la zona de infiltración y el estrato límite de la napa de agua, conformado por suelo no saturado, de 0,6 y 1,2 metros. En esas condiciones la infiltración en el terreno es un excelente tratamiento de efluentes domésticos y se estima que, con lechos mayores de un

metro de suelo no saturado libre, no existe riesgo de contaminación del acuífero. (PEPE, 2.008).

Otro aspecto a tener en cuenta es la factibilidad técnica y económica para ponerlos en marcha, lo cual exige que dichos sistemas se sustenten con actividades productivas de alta rentabilidad, elevado consumo de agua, inocuidad para la población y de bajo impacto ambiental.

Las actividades que *a priori* cumplen con estos requisitos son la Silvicultura y la producción forrajera entre otras, que deberán contar con sistemas de riego que sean eficientes en la distribución de los caudales y propicien la evaporación directa y la evapotranspiración de los cultivos.

Existe una correlación entre el área regada y los caudales consumidos, que depende del balance climático (excesos y déficit) y de las características particulares de los cultivos (capacidad evapotranspirante). Esta ecuación permite, partiendo de distintos valores de caudales esperables, definir el área necesaria a regar para cada cultivo seleccionado.

2.6. GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El agua es un recurso vital para la supervivencia humana y el desarrollo económico. La escasez da lugar a conflictos referentes a su uso, abarcando aspectos cuantitativos y cualitativos. Existen considerables diferencias entre los distintos países en cuanto a la legislación y a las instituciones que tienen que ver con el agua, y también existe diversidad en cuanto a capacidad de planificación y ejecución de proyectos.

La gestión de recursos hídricos comprende la planificación, elaboración de políticas y administración de los recursos hídricos disponibles en determinada cuenca fluvial, teniendo en cuenta aspectos económicos y medioambientales, de modo que con el tiempo surjan modalidades de uso del agua más eficientes. (BID, 2007).

En todos los países de América Latina y el Caribe, la protección y adecuada gestión de los recursos hídricos y el saneamiento han sido incluidos con alta prioridad en los programas gubernamentales, por su incidencia en el combate a la pobreza, en la protección ambiental, en la salud y en la búsqueda de crecimiento económico. En algunos países, como México por ejemplo, se ha calificado a la gestión de recursos hídricos como un problema de seguridad nacional. (PNUMA, 2003).

Esta gestión toma en cuenta los problemas de contaminación de los cauces, la sobreexplotación de los acuíferos, la reducción de los caudales naturales en los ríos, la baja eficiencia de muchos usos del agua, un precio del agua que en ocasiones no refleja todos los costes que implica hacer llegar el recurso a los usuarios, las devastadoras inundaciones y las recurrentes sequías, etc.; y las principales soluciones que se barajan para resolverlos: asegurar niveles mínimos de depuración, garantizar requerimientos mínimos ambientales en los cauces, realizar posibles trasvases de agua entre cuencas, procurar la reutilización directa de aguas residuales, promover programas de ahorro de agua, de modernización de regadíos, de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, etc. (BALAIRÓN, 2002).

A estas consideraciones tenemos que añadir que la actividad económica humana se basa en la explotación de los recursos naturales, definiéndose éstos como aquellos bienes de la naturaleza potencialmente útiles para el hombre.

En la actualidad el modelo de explotación descontrolada de los recursos naturales que caracterizó a las primeras etapas del desarrollo industrial se encuentra en crisis. Problemas como la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento global, la destrucción de los bosques nativos, la desaparición de la biodiversidad o el agotamiento de los recursos acuáticos por sobre-pesca, evidencian una crisis de dimensiones planetarias. (FUNDAMA, 2009).

Se hacen claros los primeros síntomas de agotamiento de los ecosistemas y las graves consecuencias de ello para la humanidad. En respuesta a esta situación está surgiendo un nuevo concepto: el desarrollo sostenible, nacido de la Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de Río de 1.992. Esto es: "el derecho al desarrollo debe cumplir de forma equitativa con las necesidades de desarrollo y de carácter medioambiental de las generaciones presentes y futuras".

Se pretende que se satisfagan las necesidades humanas actuales de acuerdo a una estrategia que, respetando los recursos, disminuyendo la degradación ambiental y evitando la contaminación, no hipoteque el futuro de las próximas generaciones. Este cambio de paradigma ha influido en la gestión de los residuos, que han pasado de la consideración de basuras indeseadas a la de fuente de materias primas que nuestra sociedad no puede permitirse el lujo de desaprovechar. (FUNDAMA, 2009).

Los recursos hídricos están considerados actualmente como un conjunto de elementos relacionados entre sí y con todos los demás elementos de la biosfera. Así, una modificación de uno de ellos genera una alteración en los restantes, cuya actividad conjunta viene determinada por flujos de energía.

La gestión integrada de los recursos hídricos trata de lograr un equilibrio entre los diferentes usos o aprovechamientos, teniendo en cuenta las relaciones existentes entre sus componentes y, en particular, el papel determinante que el agua tiene para la preservación y la mejora del medio ambiente. (MUJERIEGO, 2006).

La mayor parte de los artículos sobre las "aguas residuales tratadas" se relacionan con el desarrollo y descripción de metodologías y técnicas para mejorar la calidad del agua de los efluentes procedentes de las plantas de reciclaje de agua. Esto contribuirá a la protección de las aguas superficiales contra la contaminación futura, conservará las fuentes de agua naturales, y también ayudará a la sujeción de una racional protección del medio ambiente, y la calidad de la vida.

Para atender los aprovechamientos urbanos, agrícolas e industriales, y en cierto modo también asegurar la preservación del medio ambiente, existen diversas opciones de gestión que requieren una valoración objetiva de sus beneficios y limitaciones, respetando criterios de valoración ambiental, social y económica.

Cada aprovechamiento del agua tiene exigencias de calidad físico-química, derivadas de su destino directo ó indirecto. Así, el riego de parques y jardines exige una calidad físico-química del agua que permita asegurar el normal desarrollo de las especies vegetales que se desea regar. Entre los parámetros de calidad más evidentes aparecen la salinidad (medida generalmente en términos de conductividad eléctrica), el contenido de cloruros ó el de boro.

Las especies vegetales deben seleccionarse teniendo en cuenta su resistencia a la concentración de sales. Debe tenerse en cuenta que el agua residual regenerada no es mucho más salada que el agua de abastecimiento de donde proviene. Asimismo, deben seleccionarse especies vegetales que consuman mayor cantidad de agua y nitrógeno, para permitir la reducción de uso de fertilizantes. (PETTYGROVE *et al.*, 1983).

Los aportes de nitrógeno y fósforo del agua regenerada contribuyen de forma efectiva a la fertilización de los cultivos, tanto agrícolas como de campos de golf. Ello permite a los explotadores reducir los aportes externos de fertilizantes, evitando una fertilización excesiva, con los consiguientes perjuicios que ocasionaría para los cultivos, el suelo y los acuíferos. El aprovechamiento del contenido de fertilizante del agua regenerada resulta en un ahorro, que en el caso de un campo de golf puede cifrarse entre 18.000 a 24.000 euros anuales (SALA y MILLET, 1995; MUJERIEGO *et al.*, 1996).

Parece evidente que el objetivo a conseguir es que la reutilización planificada del agua constituya un componente esencial de la gestión integrada de los recursos hídricos, mediante acuerdos entre usuarios urbanos, agrícolas y de ocio. Ello, puede contribuir en forma significativa al aumento neto de dichos recursos, aunque su progreso no depende únicamente de los avances tecnológicos.

Las mayores exigencias económicas están asociadas a la distribución al usuario, mientras que el coste de la planta de regeneración y sobre todo los costes de explotación y mantenimiento (la regeneración del agua) son comparativamente mucho menores. (MUJERIEGO, 2006).

Esto permite deducir que las mejoras en la calidad del agua regenerada hasta alcanzar niveles que permitan el riego sin restricción, son de escasa significación relativa cuando se plantea un proyecto de reutilización planificada, con cierta visión de futuro, en consonancia con niveles de calidad adecuados para asegurar la protección ambiental y la salud pública, comparables a los asociados con el uso de agua.

Obviamente, la valoración completa de la reutilización requiere tener en cuenta los costes de inversión de la red de distribución que pueda ser necesaria. Por este motivo, los proyectos de reutilización suelen plantearse de forma progresiva, atendiendo inicialmente a los grupos de usuarios con mayor capacidad de uso o los más próximos a la planta de regeneración.

Suele ser más costoso suministrar agua regenerada que mantener un abastecimiento de agua potable, a pesar de que el agua regenerada tiene una calidad inferior a la del agua potable (CUTHBERT y HAJNOSZ, 1999).

No obstante, los beneficios aportados a largo plazo por la utilización del agua regenerada hacen que numerosos servicios públicos de abastecimiento de agua y de suministro de agua de riego estén promoviendo su utilización.

La gestión del ciclo del agua en el contexto de una cuenca hidrográfica, ofrece un marco excelente y mucho más favorable para llevar a cabo una gestión integrada de los recursos hídricos. En ella, los requisitos económicos y financieros de la reutilización planificada pasan a ser un elemento más a tener en cuenta dentro del balance general de costes y beneficios de la cuenca y posibilitan la incorporación

del agua regenerada como un nuevo elemento dinamizador del sistema. (MUJERIEGO, 2006).

Entre los beneficios más destacables de la reutilización planificada cabe resaltar la mayor disponibilidad de agua pre-potable que ello conlleva, cuando se sustituye por agua regenerada, y la mayor garantía de los suministros de agua regenerada para riego, que permite mitigar o suprimir las restricciones de riego que habrían de aplicarse durante períodos secos, evitando las enormes pérdidas que los períodos de sequía meteorológica comportan usualmente.

La implantación de acuerdos contractuales para la utilización de aguas regeneradas que respondan a las inquietudes de calidad y de garantía de suministro del agua de riego, a la vez que a los intereses económicos de los concesionarios, ofrece a la agricultura de regadío una alternativa práctica de enorme interés para resolver los retos que se le plantean ante el déficit de recursos, a la vez que un respaldo reglamentario ante las exigencias de calidad de los productos cultivados con ellas. (MUJERIEGO, 2006).

La gestión de todo el proceso, desde la planificación del proyecto y su información pública hasta la explotación y el mantenimiento de las instalaciones, juega un papel determinante del éxito de un proyecto de reutilización planificada.

2.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS

El agua es uno de los más importantes componentes de todos los organismos vivientes. Específicamente en las plantas, es el principal constituyente, ya que representa 80% o más del peso de las plantas herbáceas y alrededor de un 50% de las leñosas. Además de ser una parte fundamental, constituye el medio de transporte de los nutrientes que provienen del suelo y en el proceso fotosintético el agua se combina con el dióxido de carbono para constituir la biomasa. (PALACIOS VÉLEZ, 1994).

El consumo mayor del agua no es en la formación de los tejidos vegetales, sino en el proceso de transpiración. Se estima que en la mayoría de los cultivos el agua evapotranspirada durante su desarrollo representa más del 95% del consumo de este elemento (PALACIOS VÉLEZ, 1994).

La cantidad de agua requerida para compensar la pérdida por evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes.

Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua perdida a través de la evapotranspiración.

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

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor).

El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada.

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera.

Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera.

El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones:

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c aj})

ET_o: es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera.

ET_c: se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.

ET_{c aj}: requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo.

A los efectos del cómputo de la Evapotranspiración de Referencia (ET_o) con datos meteorológicos, uno de los métodos más usados es el de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), modificada por FAO:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \mu_2)}$$

donde:

ET_o: evapotranspiración de referencia [mm día⁻¹]

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m⁻² día⁻¹]

G: flujo del calor de suelo MJ [m⁻² día⁻¹]

T: temperatura media del aire a 2 m de altura [°C]

μ₂: velocidad del viento a 2 m de altura [m s⁻¹]

e_s : presión de vapor de saturación [kPa]

e_a : presión real de vapor [kPa]

$e_s - e_a$: déficit de presión de vapor [kPa]

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor [kPa °C⁻¹]

γ : constante psicométrica [kPa °C⁻¹]

MJ : megajoules

Esta Ecuación determina la evapotranspiración de la superficie del cultivo de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos periodos del año o en otras regiones así como también puede relacionarse con la evapotranspiración de otros cultivos.

La consulta a expertos de la FAO sobre la revisión de las metodologías para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos, presentó la siguiente definición inequívoca para la superficie de referencia: "Un cultivo hipotético de referencia con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23" (Estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Comisión Internacional para Riego y Drenaje (ICID), 2006)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) se da cuando los cultivos se desarrollan en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo.

La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ET_o) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto.

Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto, están incorporadas en el coeficiente del cultivo (K_c). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ET_o por K_c.

O sea:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

donde:

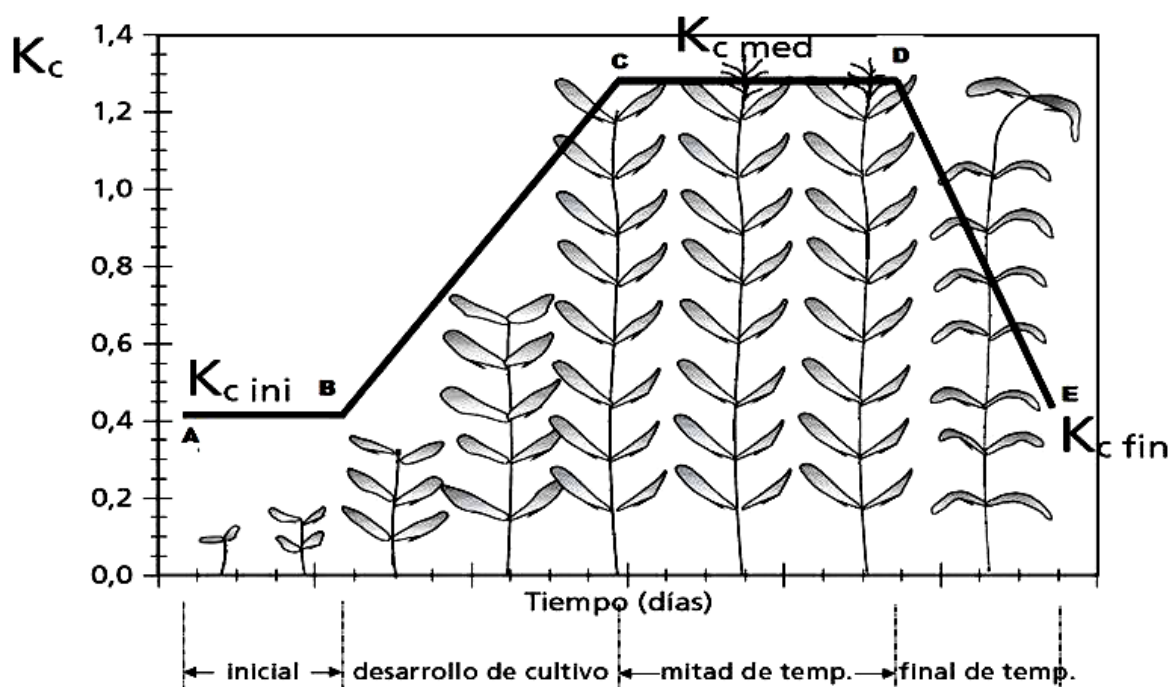
ET_c: evapotranspiración del cultivo [mm d⁻¹]

K_c: coeficiente del cultivo [adimensional]

ET_o: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d⁻¹]

En la Figura N° 1 se aprecia como varía el coeficiente K_c con las diferentes etapas de crecimiento del cultivo.

FIGURA N° 1



En la siguiente tabla podemos ver algunos valores del coeficiente K_c para cultivos que potencialmente pueden utilizarse en la zona de influencia de General Pico.

TABLA N° 9: Valores del coeficiente K_c del cultivo, para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith E_{To} .

CULTIVO	K_c inicial	K_c medio	K_c final	Altura Máxima Cultivo (m)
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0
Girasol		1,0-1,15	0,35	2,0
Avena		1,15	0,25	1,0
Trigo	0,7	1,15	0,25-0,4	1,0
Maíz		1,20	0,60-0,35	2,0
Sorgo		1,0-1,1	0,55	1-2
Alfalfa	0,40	0,95	0,90	0,7
Manzanas	0,60	0,95	0,75	4,0
Cerezas	0,60	0,95	0,75	4,0
Peras	0,60	0,95	0,75	4,0
Cítricos	0,75	0,70	0,70	4,0

Debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentan diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo bien desarrollado y regado y la de referencia E_{To} .

La disponibilidad de agua en el suelo está determinada por la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas.

Después de una lluvia importante o riego, el suelo comenzará a drenar agua hasta alcanzar la capacidad de campo que representa la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en contra de las fuerzas gravitatorias, o sea la cantidad de agua remanente en el suelo cuando el drenaje descendente ha disminuido significativamente.

En ausencia de una fuente de agua, el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo se reducirá como resultado del consumo de agua por el cultivo. A medida que aumenta el consumo de agua, el agua remanente será retenida con mayor fuerza por las partículas del suelo, lo que reducirá su energía potencial y hará más difícil su extracción por las plantas.

Eventualmente, se alcanzará un punto donde el cultivo no podrá extraer el agua remanente. En este momento la extracción de agua será nula y se habrá alcanzado el punto de marchitez permanente, que es el contenido de humedad en el suelo en el cual las plantas se marchitan permanentemente.

Como los contenidos de humedad por encima de capacidad de campo no pueden ser retenidos en contra de las fuerzas de gravedad y son drenados y debido a que contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez permanente no pueden ser extraídos por las raíces de las plantas, el total de agua disponible en la zona radicular será la diferencia entre los contenidos de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente:

$$ADT = 1000 (\Theta_{FC} - \Theta_{WP}) Z_r$$

donde:

ADT: total de agua disponible en la zona radicular del suelo [mm],

Θ_{FC} : contenido de humedad a capacidad de campo [$m^3 m^{-3}$],

Θ_{WP} : contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [$m^3 m^{-3}$],

Z_r : profundidad de las raíces [m].

La lamina ADT representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular.

Cuando la cantidad de lluvia es insuficiente para compensar las pérdidas de agua por evapotranspiración se requiere de la práctica del riego. Su objetivo principal es la aplicación del agua en el momento preciso y con la cantidad precisa de agua. Mediante el cálculo del balance diario del agua presente en la zona radicular del suelo, se pueden planificar las láminas y los momentos de aplicación del riego.

La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua.

2.8. RIEGO

2.8.1 Conceptos Generales

Un sistema de riego se define como la captación, conducción y aplicación del agua que requieren las especies vegetales cultivadas para lograr su normal crecimiento y desarrollo. Los sistemas de riego pueden clasificarse según diferentes criterios:

a) El grado de cobertura:

Riego Complementario: se usa en zonas húmedas y sub-húmedas para cubrir el déficit hídrico en determinados períodos de máxima demanda del cultivo.

Riego Total: se da en zonas áridas y semi-áridas donde se necesita cubrir la totalidad ó la mayor parte de los requerimientos hídricos de las plantas.

b) La forma de distribución de los caudales:

Riego Superficial: el agua se conduce por canales y se distribuye en el lote por gravedad.

Riego Presurizado: requiere de una bomba impulsora que genera presión suficiente para movilizar el sistema de riego.

c) El modo de aplicación del agua:

Riego Localizado: se aplica el agua a cada planta en forma individual con goteros ó microaspersores.

Riego por Aspersión: se realiza con aspersores que mojan una superficie determinada del cultivo según el tipo de regador y la presión que reciben.

Riego Subterráneo: se aplica con tuberías enterradas con orificios que permiten humedecer convenientemente el suelo.

Los sistemas de riego por aspersión pueden ser fijos ó móviles. Los sistemas fijos se componen de aspersores ó goteros que se acoplan a tuberías enterradas. En los sistemas móviles los aspersores se mueven de diferentes formas. Los más utilizados en riego agrícola son:

- **Pívot Central:** posee un ramal con difusores sostenido por torres que pivotean (giran) desde uno de sus extremos, por donde ingresa el agua, mojando un área circular variable según su longitud (comúnmente entre 30 y 100 ha).

- **Enrolladora con Cañón:** es una manguera enrollada en un carretel en cuyo extremo tiene acoplado un carro portante con un cañón de riego con alcances entre los 50 y 100 m. La manguera, al enrollarse, riega una franja rectangular de terreno cuya superficie depende del alcance del cañón.

Entre los factores a tener en cuenta para la selección del sistema de riego, cabe destacar los siguientes. (MUJERIEGO, R., 1990):

- Las características de la zona a regar, como la topografía, la permeabilidad del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y la profundidad del suelo.
- Las especies vegetales que se desea cultivar.
- El nivel de gestión y la cantidad de mano de obra especializada necesarios.
- Los costos de adquisición y de explotación del sistema de riego.
- La cantidad de agua necesaria y la exigida para la misma.

En el caso de riego con aguas residuales, la selección de sistema de riego es crucial para obtener los resultados previstos, tanto desde el punto de vista productivo como el de saneamiento ambiental. En este sentido los diferentes

sistemas de riego tienen sus ventajas e inconvenientes. Comparando el sistema de riego por aspersión con el superficial, podemos ver (MUJERIEGO, 1990):

TABLA N° 10

Ventajas	Inconvenientes
Pueden utilizarse en suelos porosos.	El costo inicial puede ser elevado.
Pueden utilizarse en suelos de escaso espesor.	Los costos pueden ser mayores.
Pueden utilizarse en terrenos ondulados.	Los mayores niveles de humedad pueden aumentar el riesgo de enfermedades en algunos cultivos.
Pueden utilizarse en suelos erosionables.	El riego por aspersión con aguas muy salinas puede causar quemaduras en las hojas.
Pueden utilizarse con pequeños caudales de agua.	Las gotitas de agua pueden causar daños en flores ó deteriorar la calidad de frutales ú hortalizas.
Pueden utilizarse en presencia de un nivel freático elevado.	Los sistemas móviles pueden quedar atascados en suelos arcillosos.
Pueden utilizarse para riegos frecuentes y de baja intensidad.	Requieren un grado de tratamiento previo del agua superior al riego superficial.
El control y la medición de los caudales utilizados son más sencillos.	La distribución del agua está sometida a la distorsión del viento.
El control y el vertido de las aguas de infiltración que se requieren son mínimos.	El arrastre de aerosoles por el viento aumenta las posibilidades de contacto del agua residual con el público.

2.8.2. Calidad de las Aguas Residuales para Riego

La acumulación de aguas residuales urbanas es un problema en las ciudades, que está relacionado con el aumento de la población. La posibilidad de utilización de estas aguas tratadas, es un recurso muy utilizado en algunos países, ya que pueden ser aprovechadas para emprendimientos productivos. (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000).

El tratamiento de lagunas de estabilización con amplios tiempos de detención tiene una gran ventaja en el contexto del reuso agrícola (en comparación con sistemas de tratamiento convencionales), ya que se reduce la concentración de bacterias coliformes por varios órdenes de magnitud y se eliminan también los huevos y quistes de helmintos (parásitos intestinales), que suelen ser el mayor problema de salud pública en algunas zonas de países en desarrollo.

Por lo tanto, la cloración del efluente de lagunas de estabilización no es necesaria. Por otro lado, las algas contenidas en el efluente de las lagunas, que representan la mayor parte de los sólidos suspendidos, pueden tener un valor fertilizante para los suelos regados con efluentes. (Gobierno de La Provincia de la Pampa, 1998).

Se considera al riego como un tratamiento terciario de las aguas residuales, donde el suelo que habitualmente está compuesto por combinaciones de arena, limo y arcilla se comporta como un verdadero filtro biológico natural. Se forma un sistema heterogéneo, compuesto por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, donde se producen fenómenos físicos y químicos muy difíciles de describir por su complejidad, que generalmente se estiman empíricamente.

El riego de cultivos agrícolas con aguas residuales de origen doméstico es una opción muy atractiva para la disposición final de las aguas residuales por las

siguientes razones:

- Permite que las autoridades municipales desalojen las aguas cloacales, eliminando al mismo tiempo los problemas de olores y la contaminación del medio, generando un beneficio ambiental para sus habitantes.

- El riego requiere cantidades grandes de agua que generalmente no son disponibles en zonas de escasez de agua. Por lo tanto, permite que los usuarios (agricultores) obtengan el agua a precio nulo.

- Se puede aprovechar no sólo el agua sino también los recursos adicionales que contienen las aguas residuales, ya que contiene gran cantidad de elementos nutritivos como: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes. Por lo tanto, permite reducir el uso de fertilizantes.

- La adición de materia orgánica contribuye a mejorar la estructura del suelo.

- Los requisitos de calidad de agua para riego de cultivos agrícolas son flexibles: mientras que algunos cultivos requieren una calidad de agua muy alta y un tratamiento avanzado de las aguas residuales, otros cultivos se pueden regar con agua de baja calidad tal como las aguas residuales parcialmente tratadas, por ejemplo en lagunas de estabilización. (GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA, 1998).

La utilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola depende de dos aspectos principales relacionados con su calidad:

- 1) La calidad del efluente desde el punto de vista sanitario.

- 2) La calidad del efluente desde el punto de vista agrícola.

Existen dos posibilidades para la reutilización de efluentes en riego agrícola:

- El "riego restringido" (Calidad "B") se refiere al uso de efluentes de baja calidad para el riego de un número limitado de cultivos tales como: pastos, bosques, algodón, y cultivos de campo, tales como trigo y cebada. Otras restricciones se relacionan con la ubicación de las tierras regadas (que no hay acuíferos potables debajo de ellas), las técnicas de cosecha, la tasa de aplicación de fertilizantes y la distancia de los campos regados de carreteras y urbanizaciones.

- El "riego no restringido" (Calidad "A") se refiere al uso de efluentes de alta calidad para el riego sin restricciones de todos los cultivos incluyendo hortalizas destinadas al consumo crudo (sin cocinar).

2.8.3. Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas

Este método es aplicado con frecuencia en muchas poblaciones urbanas que no tienen salida al mar o a un río. Actualmente, pueden regarse numerosos cultivos con aguas residuales tratadas, pero dada la incertidumbre que existe con respecto a la calidad sanitaria del agua, se prefiere limitar su uso a aquellos cultivos cuyo fruto no entra en contacto directo con el agua tratada, como ser: cultivos forrajeros, forestales y algodón..

El cultivo que reciba riego con aguas residuales tratadas deberá ajustarse a los siguientes criterios:

- Resistencia a la salinidad relativa que, por lo general, es mayor que la del agua que se suministra en la región.

- En ausencia de un embalse adecuado, la posibilidad de regar los cultivos durante la mayor parte del año y a lo largo de los años. Es preferible que los cultivos permanezcan verdes durante la mayor parte del año.
- Una agro-tecnología medianamente intensiva, en la cual el insumo trabajo es reducido y se utilizan medios mecanizados.
- Adaptación a las condiciones del medio, clima y suelo, en el cual se hacen la experimentación.
- Rentabilidad de la empresa.

(GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA, 1998)

Tomando en cuenta estos criterios es evidente que las condiciones del clima, del suelo y del mercado que imperan en la zona de General Pico reducen el horizonte de los cultivos al que puedan aplicarse las aguas residuales.

Las condiciones agro-climáticas que restringen la incorporación de ciertos cultivos en la región, se manifiestan en la ocurrencia de heladas que pueden resultar perjudiciales para muchos de ellos.

En la región de General Pico el periodo medio libre de heladas es de 220 días, que es el transcurrido entre la fecha media de última helada (28 de Setiembre) y la fecha media de primera helada (5 de Mayo).

La breve temporada veraniega, de unos 160 días, impide que se adopten cultivos de verano que necesitan un período de crecimiento largo, como en el caso del algodón. Por lo tanto, será necesario recomendar cultivos que posean una resistencia relativa a las bajas temperaturas y a las heladas.

CAPÍTULO 3. RECOLECCIÓN DE DATOS - METODOLOGÍA

3.1. UNIVERSO DE ESTUDIO

La ciudad de General Pico se encuentra ubicada en el departamento Maracó, emplazada en un área de llanura, lo que le confiere un funcionamiento hidrológico propio de estos sistemas. Por ejemplo, no permite definir un área de captación natural de aguas, como ocurre en cuencas bien delimitadas.

En cercanías de la ciudad, existe un cuenco receptor artificial donde son derivadas las aguas residuales provenientes del sistema de saneamiento urbano, previo tratamiento en una planta compuesta por dos lagunas anaeróbicas y dos facultativas, originando a través de los años una laguna de afino.

Se analizó la evolución en el tiempo de esta laguna, fijando como horizonte el año 2040, teniendo en cuenta el funcionamiento hidrológico en su cuenca de aporte y su influencia en áreas vecinas.

3.2. FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS CONSULTADAS

Se recopilaron los datos y estudios existentes referidos a la zona en estudio, el abastecimiento de agua potable y el tratamiento de efluentes. Además se revisaron estudios y proyectos de obras a realizarse que afectarán la situación actual de las aguas residuales de la Ciudad.

Se consultó al Personal Técnico de la Cooperativa Regional de Electricidad, de Obras y Otros Servicios de General Pico Ltda.:

Gerente de Agua Potable y Saneamiento Urbano: Mcs. en Ciencias Hídricas Ing. Civil Juan Carlos MECCA

Jefe de saneamiento Urbano: Miguel FLORES

Jefa de Laboratorio: Lic. en Química Mariana GAGGINO

También se consultó al Ing. Agr. Guillermo CASAGRANDE (Profesor de Climatología y Fenología Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Pampa) y a la Ing. Agr. Graciela VERGARA (Profesora de la misma cátedra). En lo referente a sistemas de riego, se consultó al Ing. Agr. Sergio ABASCAL de la Cátedra de Hidrología Agrícola de la Facultad de Agronomía de la U.N.L.Pam.

Se incorporaron imágenes de satélite que contienen el área de estudio. Por último, se complementó la información con bibliografía relativa a la investigación y con visitas a distintas páginas de Internet. Por último se complementó la información con bibliografía relativa a la investigación y con visitas a distintas páginas de Internet.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por la clase de medios utilizados para obtener los datos es Investigación de campo, pues se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones.

Por el nivel de medición de la información es una Investigación cuantitativa. También puede considerarse una Investigación proyectiva, ya que intenta responder preguntas sobre sucesos hipotéticos del futuro ó del pasado a partir de datos actuales.

3.4. PLAN DE ANÁLISIS

Para toda investigación es de importancia fundamental que los resultados obtenidos o nuevos conocimientos tengan el grado máximo de exactitud y confiabilidad.

Para ello se planea un procedimiento ordenado que se sigue para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el significado de la investigación. Ellos son los métodos y técnicas a emplear. Una vez recopilados los datos por los instrumentos diseñados para este fin, se elaboraron matemáticamente, para su cuantificación y tratamiento estadístico, lo cual permitió llegar a construcciones en relación con la hipótesis planteada.

Se analizó la dinámica de caudales de los efluentes líquidos tratados mediante recopilación de información existente y se determinaron caudales de ingreso y egreso de la planta, proponiendo distintos escenarios derivados del sistema de saneamiento y de ocurrencia de precipitaciones.

Se determinó la evolución de la calidad física, química y bacteriológica de los efluentes líquidos tratados mediante muestras tomadas en la entrada y salida de la planta de tratamiento.

Las alternativas de uso productivo se definieron teniendo en cuenta la calidad del agua y los caudales erogados por las piletas de tratamiento.

Se estudiaron distintos sistemas de riego complementario agrícola para los cultivos elegidos. Los cultivos fueron seleccionados por su potencial de rendimiento, según los niveles de salinidad y sodicidad de las aguas.

Se seleccionaron los parámetros a analizar, de acuerdo a lo establecido en el decreto N° 2793/06 de la ley ambiental provincial N° 1914 para vertido en cuerpos de agua y campos de drenaje y las recomendaciones de la E.P.A., O.M.S. y F.A.O. para reutilización en agricultura.

De acuerdo a los caudales surgidos de los distintos escenarios derivados del sistema de saneamiento y de ocurrencia de precipitaciones, se determinaron las áreas bajo riego requeridas para consumirlos.

3.5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Los caudales de ingreso a las piletas de tratamiento se calcularon utilizando un método indirecto, en relación con los caudales de agua potable consumidos. Para determinar caudales a evacuar se realizaron balances hídricos, teniendo en cuenta las precipitaciones, evaporación, infiltración, escorrentía, etc. Los datos de precipitación y evaporación se tomaron del INTA. Para definir áreas ocupadas por la laguna de afino y cuenco receptor se utilizaron imágenes de satélite. Para determinar profundidades y variaciones de nivel de pelo de agua de la laguna se instalaron reglas en distintos sectores.

La evolución de la calidad física, química y bacteriológica de los efluentes líquidos tratados se determinó mediante muestreo realizado por el laboratorio de CORPICO. El análisis químico incluyó sales totales, contenido de sodio y RAS (Relación de Adsorción de Sodio).

Para determinar las distintas alternativas de uso productivo utilizando riego complementario agrícola se evaluaron: en el caso de cultivos forestales el riego por surco, por inundación y por goteo, en el caso de cereales y cultivos forrajeros los sistemas de riego por aspersión en pivot central y enrolladora con cañón.

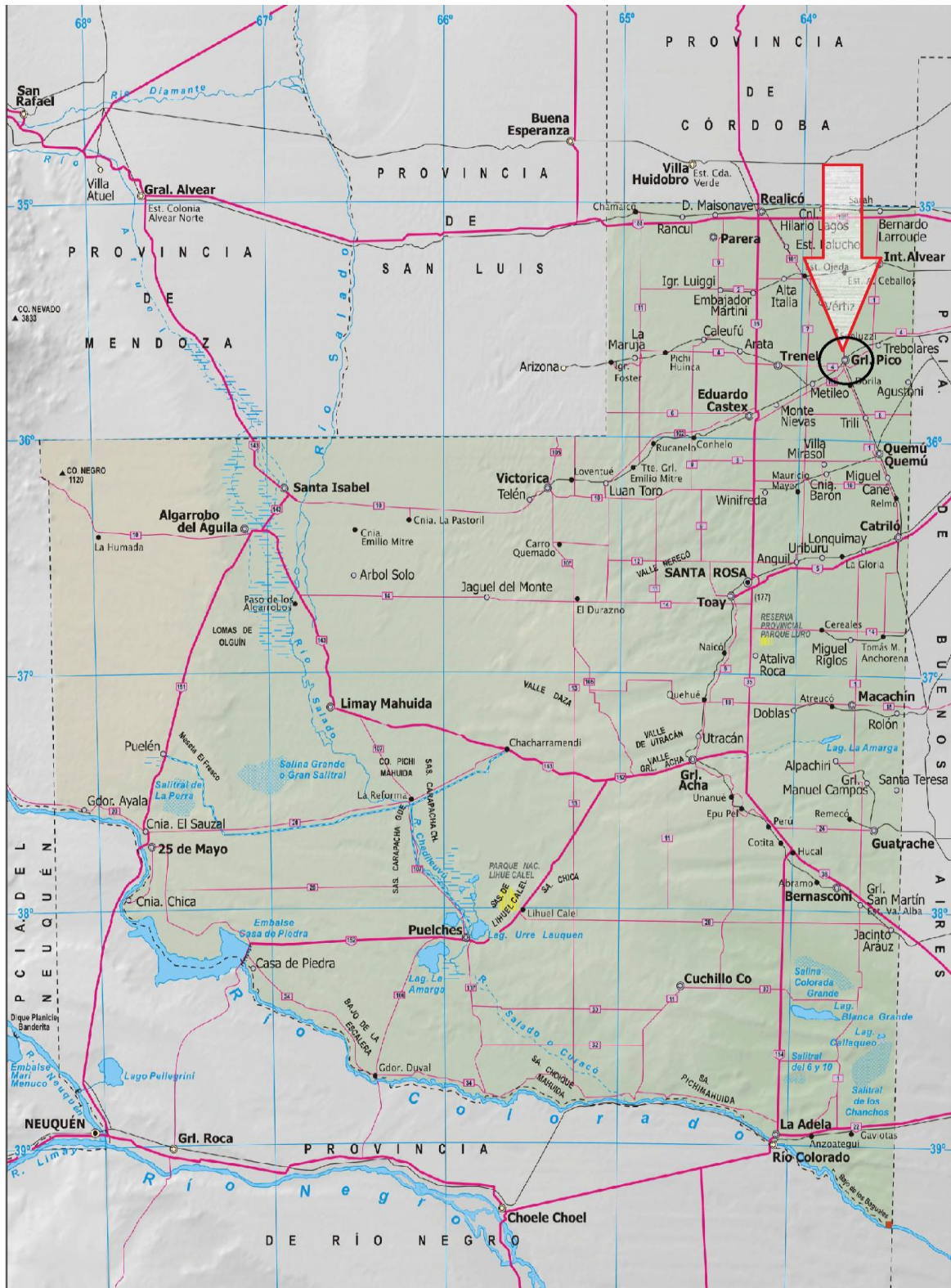
Para determinar las áreas bajo riego requeridas para consumir los caudales derivados del sistema de saneamiento y de precipitaciones, se tuvieron en cuenta los usos consuntivos y coeficientes K de cada cultivo (BLANEY, H. F. y CRIDDLE, W. D., 1950) adaptados a la zona.

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de General Pico está ubicada en el NE de la provincia de La Pampa (Figura N°2) a 130 km de Santa Rosa (Capital); es la segunda ciudad en cantidad de habitantes y cabecera del departamento Maracó.

FIGURA N° 2



El cuerpo receptor se encuentra aproximadamente a cinco kilómetros al Sureste del centro de la ciudad de General Pico, en la intersección de calles N° 217 y N° 266, pudiendo accederse mediante caminos vecinales.

Está ubicado en el rectángulo comprendido entre las siguientes coordenadas geográficas:

35° 40´ 43" (S)	63° 45´ 37" (O)
35° 40´ 46" (S)	63° 41´ 25" (O)
35° 43´ 27" (S)	63° 41´ 25" (O)
35° 43´ 27" (S)	63° 45´ 50" (O)

FIGURA N° 3



4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CUERPO RECEPTOR

El área total del campo de derrame alcanza las 300 has. Este área se encuentra distribuida en tres cuencos de 50, 100 y 150 has respectivamente. En la actualidad, se encuentran anegadas aproximadamente 180 hectáreas del total.

El nivel superficial del agua se mide periódicamente mediante reglas ubicadas en cada una de las piletas (Figura N°4). En la Tabla N°11 se ven los valores y las fechas de las mediciones.

FIGURA N° 4



TABLA N° 11

Medición N°	Fecha	Mediciones [cm]			
		Pileta 1	Pileta 2	Pileta 3	Pileta 4
1	29/08/09	10	0	11	0
2	03/09/09	9	0	6	0
3	11/09/09	11	0	3	0
4	29/09/09	20	0	15	0
5	26/10/09	20	0	0	0
6	13/11/09	18	0	-5	0
7	18/11/09	30	0	0	0
8	25/11/09	33	0	15	0
9	03/12/09	25	0	18	0
10	08/01/10	50	20	15	8
11	20/01/10	48	12	8	10
12	26/01/10	35	5	5	5
13	28/05/10	25	32	27	0
14	30/09/10	32	36	15	20
15	01/11/10	37	26	13	25
16	18/11/10	20	20	10	18
17	03/12/10	20	35	20	18
18	30/12/10	20	40	10	5
19	31/01/11	35	40	20	0
20	04/03/11	25	45	30	0
21	02/06/11	30	50	25	0

Presenta características hidrológicas particulares y su uso está restringido exclusivamente a la recepción de los efluentes cloacales tratados y del escurrimiento de su propia cuenca. Durante períodos húmedos, queda vinculada al acuífero, pudiendo recibir aportes subterráneos.

Parte de las salidas naturales están constituidas por evaporación y parte infiltra contribuyendo a la alimentación del subsuelo y a un aporte de sales en su cuenco.

Puede recibir cantidades importantes de material erosionable, que determina una sedimentación más rápida, especialmente cerca de la descarga de efluentes, pudiendo ocasionar coloración del agua.

Debido a grandes cantidades de sedimentos suspendidos y al desarrollo de algas planctónicas, su color varía de verde a marrón. Ocasionalmente, presenta floraciones densas de algas que pueden originar una capa superficial ofensiva y molesta. La estratificación térmica, si se desarrolla, es de corta duración. (FRANKLIN CONSULTORA, 1990).

Son capaces de detoxificar muchos contaminantes (metales pesados, pesticidas, etc.) como resultado de la interacción del contaminante con el material suspendido y con partículas depositadas, atenuando el deterioro de la calidad del agua.

La calidad general del agua en estos lagos es normalmente clasificada como pobre y el mayor problema que posee es su excesiva fertilización. Los nutrientes crecen continuamente, consecuencia del tipo de aportes y salidas de líquidos.

La eventual deficiencia en el tratamiento de los líquidos cloacales que son derivados, además de representar un potencial riesgo de contaminación para el ecosistema, originaría emanación de malos olores, afectando a los vecinos de la zona. (FRANKLIN CONSULTORA, 1990).

Se espera un aumento continuo de aportes por mayores caudales de líquidos cloacales tratados, considerando que éstos aumentarán en función de la cantidad de habitantes de General Pico. La descarga permanente de líquidos cloacales tratados en la laguna ha producido una salinización de la misma.

4.3. SÍNTESIS CLIMÁTICA

4.3.1. Precipitaciones

La precipitación es un elemento del clima que condiciona en gran medida el rendimiento agrícola y la producción de forraje de una región.

La zona de estudio pertenece a un ambiente semiárido de la región pampeana, caracterizado por una limitada provisión de humedad y cuya variabilidad en las precipitaciones (tanto mensuales como anuales) es muy grande.

El régimen de distribución de lluvias a lo largo del año muestra que las mayores precipitaciones medias mensuales se producen entre octubre y marzo. Los meses de menores lluvias en general son junio y julio.

La distribución de las lluvias máximas y mínimas absolutas mensuales es aleatoria, si bien puede mencionarse que las máximas ocurren en los meses de verano y las mínimas en los meses de invierno.

El área de estudio puede incluirse en la "Región hídrica sub-húmeda seca" (CANO et al., 1980).

En tabla siguiente, se observan los registros históricos de precipitaciones mensuales en milímetros, sucedidas en la ciudad de General Pico desde el año 1.921 hasta el año 2.009:

TABLA Nº 12

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1921	129.0	93.0	112.0	4.0	4.5	2.5	20.0	0.0	63.0	158.0	55.0	125.0	766.0
1922	46.0	60.0	9.0	41.0	108.0	94.0	4.5	1.0	66.0	48.0	118.0	66.0	661.5
1923	27.0	53.0	176.0	30.0	26.0	66.0	3.0	95.5	12.0	162.5	6.5	37.5	695.0
1924	51.0	53.5	83.0	75.0	15.0	19.0	20.0	0.0	15.0	43.0	10.0	90.0	474.5
1925	134.0	238.0	109.0	6.0	53.0	0.0	71.0	3.0	55.0	85.0	151.0	118.0	1023.0
1926	40.0	117.0	157.0	126.5	26.0	14.0	37.0	44.0	12.0	30.0	142.0	93.0	838.5
1927	170.0	14.0	38.0	7.0	1.0	8.0	40.0	54.0	2.0	73.0	57.0	62.0	526.0
1928	57.0	71.0	106.0	83.0	56.0	10.0	43.0	11.0	75.0	102.0	58.0	115.0	787.0
1929	92.0	40.0	16.0	47.0	16.0	36.0	0.0	0.0	18.0	79.0	61.5	11.0	416.5
1930	91.0	44.0	30.0	24.5	43.5	2.0	0.0	26.0	24.0	42.5	45.5	238.0	611.0
1931	248.0	20.0	81.5	55.0	6.0	0.0	28.5	23.5	11.0	41.0	19.0	67.0	600.5
1932	6.0	118.0	165.0	12.0	60.5	0.0	5.0	40.0	45.0	147.0	58.3	80.0	618.8
1933	93.0	88.0	99.5	15.0	47.0	3.5	7.5	5.0	94.0	58.0	4.0	66.0	580.5
1934	31.0	3.0	133.0	8.0	7.0	2.0	10.0	28.0	69.0	140.0	156.0	122.0	709.0
1935	33.0	41.0	10.0	10.0	3.0	8.0	25.0	30.0	9.0	82.0	75.0	136.0	462.0
1936	50.0	117.0	13.0	89.0	9.0	30.0	27.0	0.0	18.0	47.0	103.0	144.0	647.0
1937	13.0	67.0	109.0	18.0	44.0	4.0	0.0	3.0	10.0	41.0	32.0	26.0	367.0
1938	53.0	24.0	119.0	70.0	46.0	1.0	3.0	16.0	4.0	38.0	63.0	1.0	438.0
1939	31.0	37.5	20.0	14.0	119.0	43.0	1.0	13.0	195.0	206.0	78.0	60.0	817.5
1940	81.0	97.0	27.0	25.0	23.0	78.0	41.0	43.0	45.0	68.0	68.0	121.0	717.0
1941	59.0	114.0	156.0	49.0	40.0	0.0	37.0	49.3	0.0	27.0	64.0	133.0	728.3
1942	19.0	121.5	75.0	3.0	22.0	2.0	6.0	7.0	12.0	64.0	152.0	51.0	534.5
1943	3.0	10.0	128.0	28.0	6.0	56.0	62.0	0.0	8.5	148.0	144.0	6.0	599.5
1944	88.0	85.0	56.0	28.0	15.0	0.0	0.0	4.0	11.0	68.0	8.0	25.0	388.0
1945	76.0	93.5	120.5	79.0	0.0	4.0	14.5	32.0	32.0	24.5	30.5	13.0	519.5
1946	50.5	81.0	59.5	255.0	72.0	107.0	6.0	17.0	25.0	77.5	71.0	152.5	974.0
1947	54.0	64.0	283.0	57.5	21.5	12.0	4.0	0.0	25.5	47.5	88.0	12.0	669.0
1948	130.0	32.0	69.5	19.5	88.5	0.0	12.5	14.0	35.0	47.0	15.0	71.5	534.5
1949	23.5	58.0	75.5	27.0	2.0	3.0	28.0	17.5	15.0	22.0	58.0	71.0	400.5
1950	24.5	26.0	72.5	112.0	63.5	0.0	10.0	1.0	30.5	106.5	18.5	51.0	516.0
1951	121.5	70.5	9.0	17.0	112.0	5.0	8.5	0.0	10.0	10.0	85.0	86.0	534.5
1952	56.0	20.0	130.5	0.0	17.5	99.0	26.0	45.0	113.0	137.0	66.0	33.0	743.0
1953	56.0	68.0	131.5	45.5	1.0	4.0	0.0	8.5	22.0	111.0	59.0	192.0	698.5
1954	26.0	40.0	51.0	131.0	4.0	27.0	23.0	4.0	26.5	71.5	50.5	31.0	485.5
1955	71.0	252.0	38.0	54.5	19.5	22.5	83.0	0.0	0.0	51.0	102.0	53.0	746.5
1956	124.0	87.0	157.0	41.0	29.0	2.0	16.0	27.0	38.0	108.0	158.0	67.0	854.0
1957	64.0	14.0	165.0	97.0	25.0	74.0	2.0	0.5	49.0	26.0	74.0	103.0	528.5
1958	85.0	34.0	27.0	79.0	8.0	5.0	86.0	8.0	114.0	9.0	70.0	48.0	573.0
1959	65.0	132.0	80.0	80.0	22.0	42.0	2.0	27.0	7.0	135.0	99.0	55.0	724.0
1960	83.0	75.0	96.0	2.0	7.0	21.0	27.0	4.0	42.0	50.0	49.5	39.0	488.5
1961	111.0	83.0	34.0	34.0	8.0	20.0	0.0	23.0	17.0	121.0	67.0	44.0	562.0
1962	33.0	13.0	2.0	101.0	9.0	0.0	0.0	66.0	11.0	53.0	150.0	19.0	457.0
1963	66.0	79.0	114.0	42.0	3.0	8.0	4.0	3.0	48.0	147.0	78.0	112.0	704.0
1964	34.0	32.0	90.0	103.0	23.0	2.0	3.0	0.0	24.0	26.0	125.0	160.0	622.0
1965	66.0	39.0	16.0	22.0	7.0	21.0	5.0	0.0	0.0	25.0	177.0	68.0	446.0
1966	56.0	12.0	92.0	91.0	5.0	16.0	38.0	9.0	0.0	32.0	134.0	60.5	545.5
1967	62.0	55.0	35.0	33.0	45.0	0.0	6.0	4.0	45.0	194.3	51.6	44.2	575.1

1968	68.8	74.0	128.2	2.0	0.0	21.5	52.2	52.4	56.8	64.3	75.2	137.2	732.6
1969	34.4	131.8	248.5	107.2	59.7	56.4	0.2	0.0	24.0	21.6	119.3	70.9	874.0
1970	137.1	38.5	81.2	3.1	11.7	1.3	0.0	0.0	89.0	89.0	79.3	58.8	589.0
1971	104.0	61.7	57.7	57.6	95.0	5.2	8.2	77.3	80.6	70.2	28.9	29.3	675.7
1972	196.6	27.8	100.5	158.9	1.4	45.7	1.3	43.1	144.6	20.4	150.6	127.6	1018.5
1973	188.5	122.1	147.6	162.7	2.6	56.5	33.9	6.9	13.7	128.5	31.0	104.3	998.3
1974	247.8	173.6	81.1	0.3	99.6	39.1	32.8	11.4	23.8	81.4	62.1	126.4	979.4
1975	135.8	71.7	380.5	92.6	28.9	32.5	1.0	5.7	81.5	53.5	84.0	32.7	1000.4
1976	103.2	199.8	84.4	95.2	11.1	2.8	27.2	104.0	3.4	76.2	154.0	213.6	1074.9
1977	116.1	152.8	126.7	18.4	11.7	19.8	9.1	23.0	11.2	168.4	74.7	130.6	862.5
1978	113.3	95.8	89.1	51.4	16.6	1.5	31.1	1.9	94.6	81.8	129.0	165.9	872.0
1979	102.2	75.8	125.2	7.6	52.6	81.0	13.9	32.4	41.2	50.3	78.0	191.5	851.7
1980	14.7	95.7	42.6	91.3	72.0	21.2	19.6	0.0	0.0	105.2	110.8	57.4	630.5
1981	146.1	194.1	147.2	126.0	35.5	17.9	3.3	0.0	9.0	83.8	151.0	107.4	1021.3
1982	107.0	85.0	96.3	180.3	73.3	41.9	33.0	1.7	40.6	84.2	71.0	87.9	902.2
1983	226.9	72.0	47.3	48.6	63.9	7.0	14.0	64.2	0.8	112.7	38.9	235.6	931.9
1984	173.7	276.5	123.7	54.2	27.2	17.1	7.9	19.6	89.6	67.0	130.8	62.9	1050.2
1985	179.4	23.9	46.1	69.9	6.3	0.0	166.4	4.0	91.8	135.6	162.3	188.7	1074.4
1986	242.4	84.8	183.9	122.1	7.8	8.1	10.8	40.3	91.7	74.9	97.3	45.6	1009.7
1987	160.1	113.8	269.7	48.1	2.8	1.6	59.2	45.2	38.3	98.9	94.3	33.4	965.4
1988	56.0	155.7	143.9	42.5	14.1	18.3	0.0	8.8	123.7	7.5	125.2	83.3	779.0
1989	20.2	50.5	263.4	41.7	33.2	39.6	36.6	28.9	16.3	38.1	56.0	134.6	759.1
1990	59.6	87.1	191.9	47.6	119.3	0.0	17.1	0.4	80.4	132.5	38.8	67.1	841.8
1991	101.5	40.7	51.0	31.1	4.1	31.0	10.0	13.0	62.1	61.5	65.9	207.5	679.4
1992	56.9	157.5	208.5	17.5	73.0	2.0	1.0	82.0	74.0	14.0	82.7	312.0	1081.1
1993	119.5	103.0	41.5	74.5	26.0	3.0	0.0	15.0	52.5	36.0	94.0	40.0	605.0
1994	86.0	72.0	29.0	28.5	35.0	9.5	23.5	56.0	7.0	63.5	4.5	114.0	528.5
1995	69.0	71.5	67.0	88.5	73.5	2.5	0.0	6.0	14.5	63.0	74.5	40.5	570.5
1996	99.0	127.0	109.0	90.0	20.0	3.0	6.5	5.0	10.5	82.5	121.0	251.5	925.0
1997	97.0	43.5	127.0	131.0	13.0	33.0	13.0	20.0	28.0	149.6	66.2	283.5	1004.8
1998	48.0	202.0	34.5	123.5	41.0	20.0	18.0	31.0	74.0	134.7	75.6	74.6	876.9
1999	102.5	281.5	436.2	178.7	13.0	43.9	22.0	20.0	88.3	78.1	114.7	143.7	1522.6
2000	136.5	155.0	90.0	61.0	111.5	2.5	11.0	9.5	13.5	178.0	75.5	35.0	879.0
2001	68.0	60.5	296.0	71.5	19.5	2.5	1.0	14.0	138.0	178.2	156.0	58.5	1063.7
2002	169.0	10.0	185.0	77.9	53.0	5.0	11.0	54.0	29.5	89.5	83.8	133.5	901.2
2003	3.0	66.0	89.5	100.0	12.0	5.0	0.0	8.0	13.0	47.0	91.0	124.5	559.0
2004	104.0	79.0	140.5	109.0	40.0	0.0	86.0	33.0	5.0	112.0	145.0	278.0	1131.5
2005	123.0	43.5	102.0	66.0	10.0	17.5	8.0	66.0	26.0	58.1	46.5	28.7	595.3
2006	112.5	67.0	122.0	56.5	0.0	3.0	7.0	9.0	17.0	156.3	53.5	133.0	736.8
2007	61.0	160.0	190.0	75.0	5.0	40.0	2.0	1.0	102.5	81.0	25.5	26.0	769.0
2008	65.0	140.0	24.0	9.0	0.0	21.0	6.0	0.0	33.0	120.0	38.0	161.0	617.0
2009	10.0	95.0	130.0	5.0	28.0	0.0	5.0	0.0	47.0	13.5	204.0	271.7	809.2
Promedio	87.1	85.7	108.5	60.8	31.6	19.7	19.2	20.5	41.4	80.8	82.8	98.8	736.7

4.3.2. Balance Hidrológico Climático

El balance climático de THORNTWAITE (1948) define las características hídricas de una región, relacionando los aportes por precipitaciones y las pérdidas por evapotranspiración, y su incidencia en el Almacenaje de agua en el suelo (Alm.). De tal manera se obtienen los valores de exceso y déficit mensuales, según el suelo se va humedeciendo y secando.

La Tabla N° 13 muestra el balance de Gral. Pico con los valores (en mm) para la serie de precipitaciones 1961–2009.

TABLA N° 13: Balance Climático Mensual de Thornthwaite

[m m]	E	F	M	A	M	J	Jl	Ag	S	O	N	D
P	104.0	96.7	125.2	68.9	31.2	17.0	17.8	23.2	45.6	86.3	87.2	114.4
EP	145.0	96.0	92.0	54.0	36.0	17.0	16.0	26.0	42.0	70.0	91.0	132.0
Alm.	145.8	146.5	179.7	194.6	190.0	190.0	191.8	189.1	192.7	200.0	196.2	179.5
P - EP	- 33.6	0.7	33.2	14.9	- 4.7	0.0	1.8	- 2.7	3.6	7.3	- 3.8	-16.7
ER	137.6	96.0	92.0	54.0	35.9	17.0	16.0	25.9	42.0	70.0	91.0	131.1
Déficit	7.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.9
Exceso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0

Precipitación: Serie 1961–2009

Capacidad de Campo: 200 mm

Índice de Humedad: 1.1

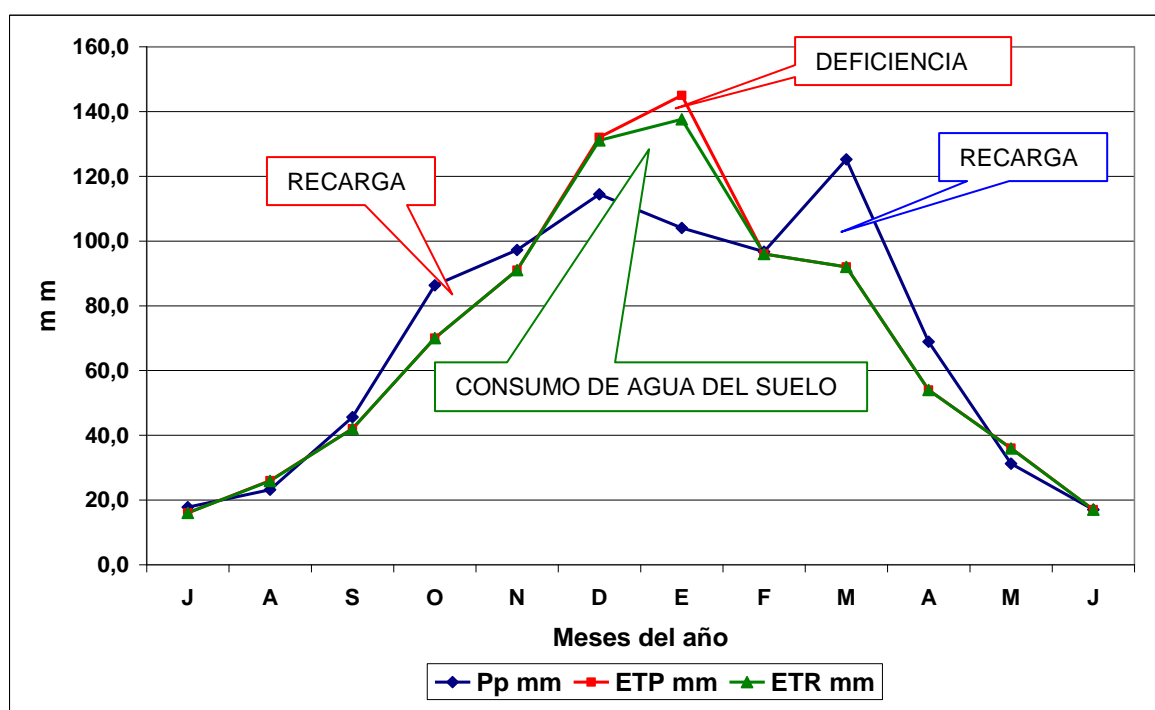
Índice de Aridez: 1.0

Índice Hídrico: 0.5

Las deficiencias ocurren en los meses donde la EP supera la ER (ej.: Déficit de Enero = EP – ER = 7, 4 mm). En los meses en que la P supera la EP se produce recarga de agua en el suelo (ej: Febrero, Marzo y Abril), hasta que el suelo llega a su capacidad máxima de retención, a partir de lo cual se producen los excesos (Setiembre y Octubre).

En la Figura N°5 se observan las curvas de Precipitación (P), Evapotranspiración Potencial (EP) y Evapotranspiración Real (ER), que muestran los períodos de deficiencias, recarga de agua del suelo y excesos durante el año.

FIGURA N° 5. Balance Hídrico de General Pico según Thornthwaite



4.3.3. Temperatura

La temperatura es un factor meteorológico muy importante y su variación extrema actúa como limitante para el crecimiento y desarrollo de las plantas y animales.

La zona donde se halla emplazada la ciudad de General Pico posee un clima templado, con temperatura media anual de 15,9 °C, de acuerdo a los registros del campo del INTA correspondientes al período 1961 - 2005. La media para el mes más cálido (Enero) es de 23,3 °C y para el mes más frío (Julio) 8,1°C.

Como es típico de los climas continentales, existe una gran amplitud térmica diaria, llegando a una diferencia de 30°C entre la temperatura máxima y la mínima diaria.

Asimismo, existe una importante amplitud térmica entre el más cálido y el mes más frío, de 15,2°C. En la Tabla N° 14 se observan los valores de temperatura media mensual y las máximas y mínimas absolutas:

TABLA N° 14 Temperaturas medias, máximas y mínimas mensual

Temperatura [° C]	E	F	M	A	M	J	JI	A	S	O	N	D
Media Mensual	23,3	22,2	20,0	15,8	12,1	8,5	8,1	10,4	12,6	16,1	19,2	22,3
Máximas Absolutas	40,9	41,8	38,5	33,5	31,6	28	29,9	33	32,7	37	39,2	44
Mínimas Absolutas	3,5	2,7	-2,6	-5,3	-8,3	-11	-11,4	-8,9	-8	-3,7	-2,6	0,2

Datos del INTA de General Pico serie 1961–2005.

El periodo medio libre de heladas es de 220 días, definiéndose como helada a toda temperatura inferior o igual a 0°C, ocurrida en el abrigo meteorológico (1,50 m metros sobre el nivel suelo).

4.3.4. Vientos

La dirección predominante de los vientos es Norte-Noreste y Sur-Sudoeste, con valores máximos de 30 a 50 km/h promedio y una velocidad media anual de 14 km/h.

La mayor intensidad se produce durante los meses de primavera, estación que coincide con la preparación de suelos destinados a cultivos estivales, aumentando los riesgos de erosión eólica, frecuentes en la región.

Por su acción desecante, este elemento del clima adquiere en determinados momentos, características adversas para la producción de cultivos.

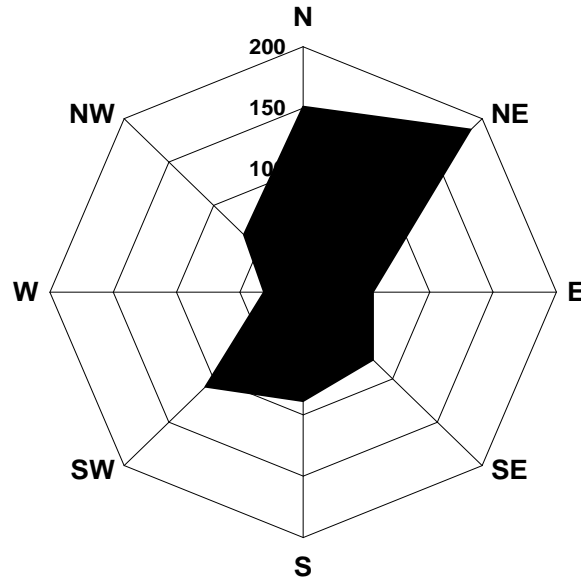
Generalmente los vientos que aportan masas de aire húmedo a la provincia de La Pampa provienen de la dirección Este-Noreste.

En el siguiente gráfico (Figura N°6) se representan las frecuencias promedio de las distintas direcciones de los vientos, apreciándose bien los predominantes.

TABLA N° 15 Frecuencias correspondientes a cada dirección

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
151	188	55	78	89	109	31	66

FIGURA N° 6
FRECUENCIA DE DIRECCIONES DE VIENTO GENERAL PICO
(1941/90)



4.4. SUELOS Y VEGETACIÓN

Los suelos están constituidos por Haplustoles Énticos, familia arenosa, mixta, térmica y los Ustipsamientos típicos, familia sílicea, térmica. Ambos tienen poca evolución genética y su material parental son arenas con textura franca-arenosa fina de depositación reciente, que poseen buen drenaje. (CANO, E. *et al.*, 1980).

Presentan un perfil A-AC-C. La capa arable tiene un buen espesor con un discreto contenido de materia orgánica. Las limitaciones que puede presentar son la baja capacidad de retención de agua y el potencial de erosión hídrica por su escasa estructura.

El uso de la tierra orientado a la agricultura se ve limitado moderadamente por el clima, que condiciona la elección de los cultivos, dado que en períodos de sequía pueden disminuir su rendimiento debido a una baja retención de humedad. El peligro de erosión eólica es de ligero a moderado, pero puede acentuarse por el laboreo y pastoreo excesivo (CANO *et al.*, 1980).

La vegetación natural está conformada por pastizales bajos de gramíneas, con presencia de especies herbáceas y algunos arbustos. La actividad agrícola reemplazó esta biota por cultivos anuales y pasturas con sus respectivas malezas, preservándose parcialmente en aquellos sectores carentes de laboreo y en las depresiones que constituyen humedales, permanentes ó temporarios, donde se desarrollan sus especies típicas. (MARIÑO, 2003).

Los suelos de la región son aptos para el cultivo de forrajeras perennes (alfalfa, festuca, raigrass, pasto ovido, trébol de olor), verdeos invernales (cebada, centeno, avena), cereales (trigo, maíz, sorgo) y oleaginosas (girasol, soja) entre otras especies herbáceas.

Además pueden desarrollarse árboles frutales (de carozo y de pepita), cítricos y especies forestales de climas templados que, cuando cuentan con un buen régimen hídrico, pueden lograr rendimientos satisfactorios.

4.5. SÍNTESIS GEOMORFOLÓGICA

La zona fue incluida en la subregión de las Planicies Medanosas (CANO *et al.*, 1980) y en la llanura pampeana de modelado eólico superimpuesto (CALMELS, 1996).

El relieve, que localmente puede variar de plano hasta colinoso, resulta de la acción de procesos de acumulación y deflación sobre una capa arenosa de espesor variable. En este ambiente, son comunes los cordones medanosos que se originan durante distintos ciclos de aridez, a los que suele adicionarse otro más reciente y de carácter antrópico (CALMELS, 1996).

Una de estas geoformas se extiende, en sentido Nor-Noroeste y Sur-Sureste, entre las localidades de Speluzzi y General Pico (MALÁN, 1983), aunque hacia el sur pierde gradualmente su definición topográfica. El resto del área de estudio es una planicie arenosa, con alternancia de médanos aislados y depresiones suaves.

Los sectores bajos frecuentemente alojan cuerpos de agua permanentemente o temporarios, cuya extensión y permanencia fluctúan con las variaciones pluviométricas. (MARIÑO, 2003).

4.6. SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA

Los distintos niveles de la secuencia sedimentaria difieren en su comportamiento hidráulico. La parte superior del acuífero se desarrolla en la capa arenosa eólica y continúa en los sedimentos de la Formación Cerro Azul. Ambas secciones están íntimamente relacionadas debido a que entre ellas no hay niveles menos permeables que interrumpen la conexión hidráulica o dificultan el flujo vertical. (MARIÑO, 2003).

La capa arenosa eólica tiene un espesor que varía desde un decímetro hasta docenas de metros, en el sector central del ambiente medanoso. Allí, su tercio superior constituye la zona no saturada y, por sus propiedades hidráulicas, incide favorablemente en la recarga del acuífero (Administración Provincial del Agua - Consorcio EIH y ENE-I, 1987), (MALÁN, 1983).

La capa arenosa eólica corresponde a una unidad morfo-sedimentaria que cubre algo más de la cuarta parte del territorio provincial (CALMELS, 1996). Este extenso manto arenoso superficial fue correlacionado con la edad holocena, y en el sector central de La Pampa recibió la denominación informal de "Formación Meauro" (GIAI, 1975).

La porción saturada tiene un comportamiento netamente acuífero y sus parámetros hidráulicos se estiman en 17 a 29 m/día para la permeabilidad y 0,17 y 0,11 para el rendimiento específico. (MALÁN, 1980).

La Formación Cerro Azul tiene un espesor promedio de unos 100 metros y se comporta como un acuífero libre de drenaje diferido. De acuerdo a ensayos realizados, la permeabilidad oscila entre 2,3 y 4,8 m/día y el coeficiente de almacenamiento entre 0,002 y 0,003.

El área de recarga está ubicada en la porción central del ambiente medanoso donde se define una divisoria de drenaje subterráneo, la zona de conducción tiene su mayor desarrollo hacia el este y la principal zona de descarga está situada al suroeste del área de estudio.

La morfología de la capa freática es de tipo radial divergente, con gradientes hidráulicos medios de $1,3 \times 10^{-3}$.

Existe una clara vinculación con las precipitaciones. Se destaca el impacto que tiene una sucesión de años con lluvias cuantiosas, tal como ocurrió entre 1.984 y 1.987, y que en 1.986 dio lugar a la mayor somerización del nivel freático, que se ubicó a 1,17 y a 1,72 metros bajo la superficie. (MARIÑO, 2003).

Estudios exploratorios demostraron que resultaría posible la extracción de un volumen de $6.164 \text{ m}^3/\text{d}$. Actualmente, el régimen de explotación supera ampliamente este valor, alcanzando un promedio de unos $10.000 \text{ m}^3/\text{d}$, llegando a máximos de algo más de $15.000 \text{ m}^3/\text{d}$, destinados a satisfacer las demandas domésticas extraordinarias que se dan durante la temporada estival.

De acuerdo a distintos estudios realizados en la zona, la infiltración eficaz media anual sería del orden de 130 mm, considerando una precipitación de 862 mm anuales. (MARIÑO, 2003).

4.7. ÍNDICES DE POBLACIÓN

De acuerdo al estudio correspondiente al Acueducto Río Colorado, la población proyectada para la Ciudad de General Pico en distintos años (hasta el 2040) se detalla en la tabla siguiente:

TABLA N° 16

Año	2.020	2.030	2.040
Habitantes	78.014	94.969	112.597

De acuerdo al Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico, la población servida con cloacas proyectada para distintos años (hasta el 2.040) se detalla en la tabla siguiente:

TABLA N° 17

Año	2.020	2.030	2.040
Habitantes Servidos	75.289	92.997	112.925

Se observa que en el año 2.040 sería mayor la cantidad de habitantes servidos que la población total. Ello se debe a que los datos corresponden a distintas fuentes, pero se rescata el concepto de considerar que la totalidad de la población contará con el servicio de cloacas.

CAPÍTULO 5. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

5.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación media de la localidad de Gral. Pico entre los años 1.921-2.009 alcanzó los 736,7 milímetros anuales. La mínima histórica sucedió en el año 1.937 y fue de 367 milímetros anuales, mientras que la máxima histórica sucedió en el año 1.999 y fue de 1.522,6 milímetros anuales.

Otra característica es la concentración de las precipitaciones en los meses más cálidos, lo cual lo asemeja a un régimen monzónico.

En la Tabla N°18 se observa la distribución de las lluvias y las principales variables estadísticas (Desviación Standard y Medianas).

TABLA N° 18

Nº	Obs.	Media	Standard	Mínima	Año	Mediana	Máxima	Año
Enero	90	87.1	56.36	3.0	2003	78.5	248.0	1931
Febrero	90	85.7	59.50	3.0	1934	71.8	281.5	1999
Marzo	90	108.5	79.15	2.0	1962	96.2	436.2	1999
Abril	90	60.8	48.49	0.0	1952	52.8	255.0	1946
Mayo	90	31.6	31.37	0.0	2006	21.8	119.3	1990
Junio	90	19.7	24.76	0.0	2004/9	8.0	107.0	1946
Julio	90	19.2	25.49	0.0	2003	10.4	166.4	1985
Agosto	90	20,5	23.65	0.0	1981	12.2	104.0	1976
Septiembre	90	41,4	38.82	0.0	1980	25.8	195.0	1939
Octubre	90	80.8	47.56	7.5	1988	72.3	206.0	1939
Noviembre	90	82.8	45.07	4.0	1933	75.1	177.0	1965
Diciembre	90	98.8	69.95	1.0	1938	73.1	312.0	1992
Año	90	736.7	223.0	367.0	1937	709.0	1522.6	1999

Precipitaciones del Semestre Cálido (Octubre - Marzo) = 543.5 mm (73.8%)

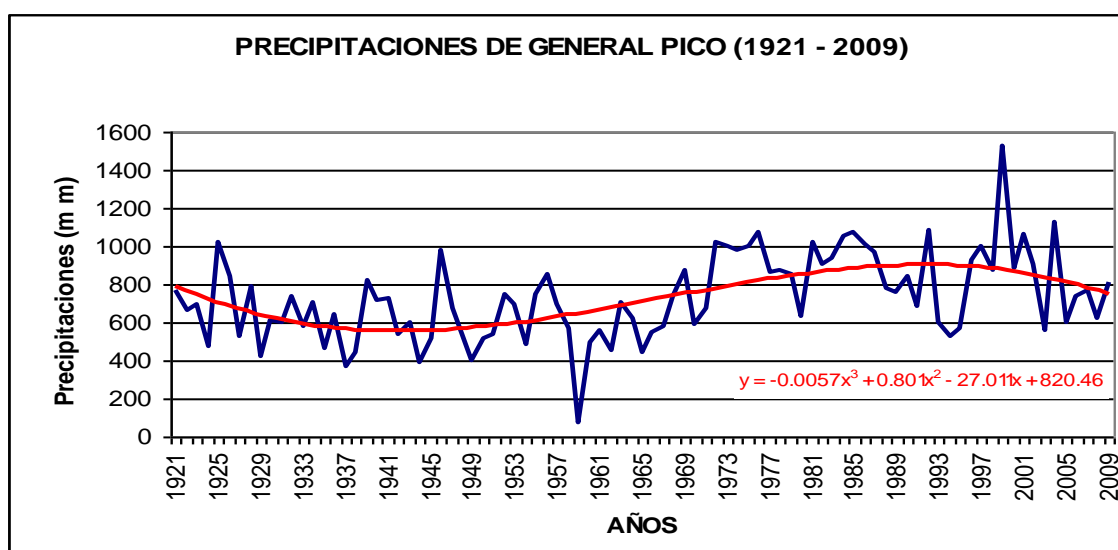
Precipitaciones del Semestre Frío (Abril - Septiembre) = 193.2 mm (26.2%)

A continuación vemos la distribución estacional de las precipitaciones:

1. Verano (Diciembre + Enero + Febrero) 271.5 mm (36.9 %)
2. Primavera (Septiembre + Octubre + Noviembre) 205.0 mm (27.8 %)
3. Otoño (Marzo + Abril + Mayo) 200.9 mm (27.3 %)
4. Invierno (Junio + Julio + Agosto) 59.3 mm (8.0 %)

En el siguiente gráfico se observa la serie completa, donde puede apreciarse una tendencia creciente de los registros históricos en función del tiempo.

FIGURA N° 7



5.2. LÍQUIDOS TRATADOS

Se cuenta con un único registro, como antecedente, de caudales de agua potable entregado a la ciudad y líquidos cloacales ingresados a las Planta de Tratamiento, correspondientes al día 6/6/2.003. Los valores medidos para ambos sistemas, mediante caudalímetros ultrasónicos, en esa fecha fueron:

Caudal de líquido cloacal ingresado a la planta de tratamiento

$$(Q_c) = 7.745 \text{ m}^3/\text{día};$$

Caudal de agua potable suministrado a la red

$$(Q_a) = 9.832 \text{ m}^3/\text{día}$$

RELACIÓN PORCENTUAL DE CAUDALES

$$(Q_c/Q_a) = 78,7 \%$$

Este porcentaje se considera dentro del esperado para la ciudad. En el presente estudio se adoptará una relación de $(Q_c/Q_a) = 80 \%$, en virtud que nos encontraríamos del lado seguro al estimar mayores caudales a evacuar.

Tomando en cuenta este porcentaje, se estimó el caudal cloacal correspondiente al año 2.008 en función de la cantidad de agua potable suministrada por la red, medida mediante un caudalímetro ultrasónico.

Luego se adicionó un 14 % correspondiente a líquido industrial y se extrapolaron valores en función de la población servida estimada en el Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico y considerando el crecimiento de consumo establecido en los estudios del Acueducto del Río Colorado. En la tabla N°19 se observan los valores proyectados hasta el año 2.040, ajustados a valores reales del año 2.008:

TABLA N° 19

Año	2.020	2.030	2.040
Q_{cloacal+industrial (14%) dotación AP-ARC (m³/día)}	16.649	21.133	26.083
Q_{cloacal + (14%) industrial (m³/día)}	15.594	20.090	25.395
Q_{cloacal+industrial (14%) (diseño) (m³/día)}	21.310	25.440	30.894

Con la incorporación del Acueducto Río Colorado al sistema hídrico de la ciudad, los caudales de líquidos cloacales aumentarían significativamente. Por tal motivo, serían mayores que los proyectados considerando la dotación actual de agua potable.

En consecuencia, debe tenerse en cuenta el Estudio del ARC y considerar los caudales cloacales que se derivarán en función de la dotación de agua prevista. Estos, incluyendo el 14 % de líquido industrial se observan en la Tabla N°19.

Por otra parte, en el Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico se proyectaron los siguientes caudales (considerando suministro de agua potable por red más perforaciones individuales y un volumen adicional de 14% en concepto de desagües industriales) (Tabla N°19).

En consecuencia, pueden obtenerse dos valores de diseño para el año 2.040, según cuál sea el objetivo buscado.

5.3. DESAGÜES PLUVIALES

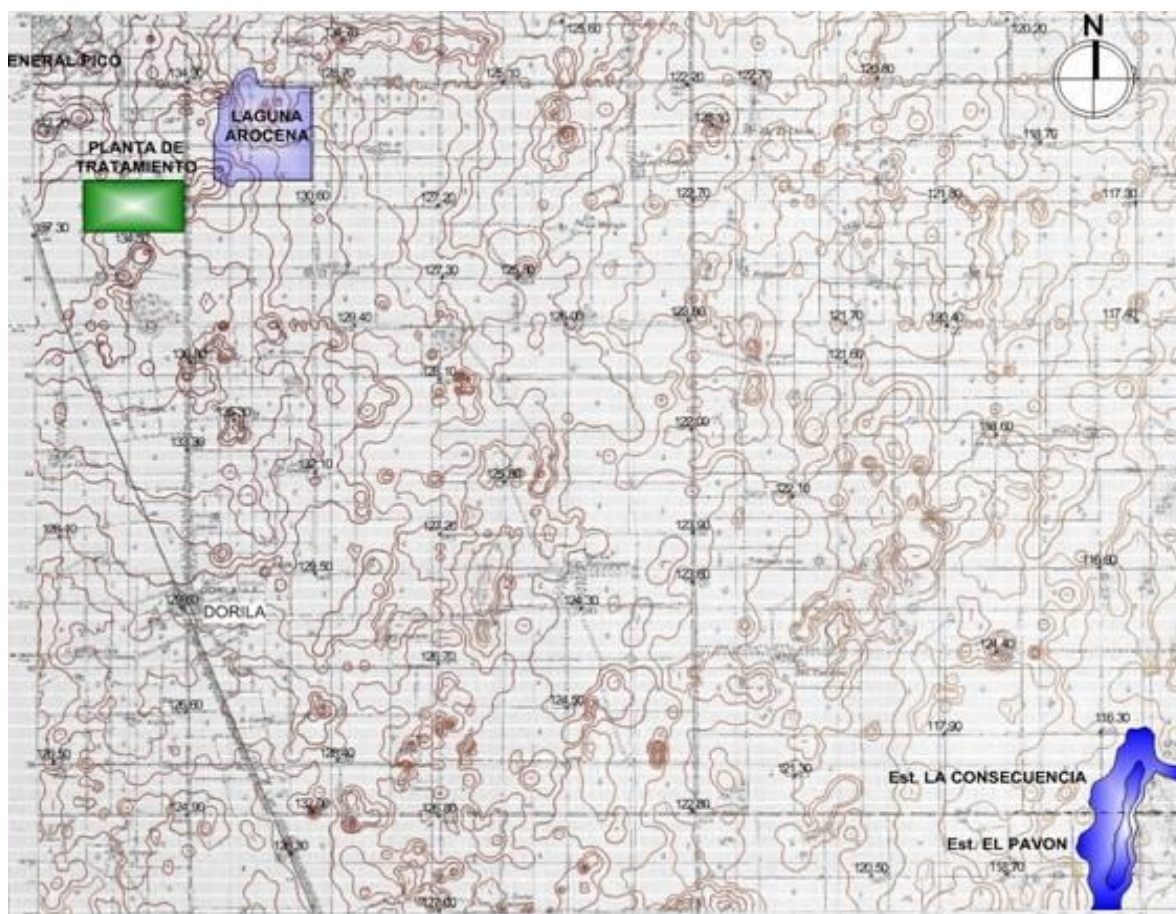
Se estima que los desagües pluviales que derivan a las cloacas representan como mínimo un 30% de las precipitaciones.

5.4. ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES

En áreas de llanura, el escurrimiento superficial cuando existe, presenta una distribución similar a la precipitación, siguiéndola con bastante retraso y dando lugar a una superposición de efectos, con lluvia antecedente, que producen anegamientos. Las pequeñas depresiones actúan como reservorios superficiales, provocando mayores pérdidas por evaporación durante prolongados períodos.

Los bajos gradientes determinan movimientos lentos del agua, favoreciendo la infiltración. Ambas situaciones, restan importantes volúmenes de agua al excedente disponible para el escurrimiento superficial.

FIGURA Nº 8



En el estudio realizado por la Dirección de Aguas de la Provincia de La Pampa, para el Bajo La Consecuencia, en el año 2.000, se determinó que el escurrimiento superficial era nulo, en virtud que el área que podría considerarse como cuenca de aporte no era muy extensa.

Por otra parte, en el Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico se concluye que los desbordes del cuenco La Arocena deben evacuarse hacia otros sectores, estimándose excedentes de 1 hm³/año, para condiciones medias de escurrimiento.

Considerando el microrelieve existente de nuestra zona de estudio, la naturaleza arenosa del terreno y el fuerte laboreo a que ha sido sometido, habría que pensar en condiciones y lluvias absolutamente extraordinarias para que se produjera un aporte de flujo laminar, ya que no se advierten cañadas u otro tipo de depresiones conductoras de agua. Asimismo, al analizar las curvas de nivel (Figura N° 6) que rodean la zona de estudio, se observa que descarga hacia la laguna la Arocena y el Bajo La Consecuencia. En virtud de ello, se considerarán nulos los escurrimientos superficiales.

5.5. EVAPORACIÓN

Se dijo que las pequeñas depresiones actúan como reservorios superficiales, provocando mayores pérdidas por evaporación durante prolongados períodos. Asimismo, durante períodos secos, en lugares de napas someras, se propician condiciones favorables para que se produzca la evapotranspiración. Ambas situaciones restan volúmenes de agua al sistema hídrico.

Los valores promedios mensuales de evaporación correspondientes al período 1973 -1990, afectados por un coeficiente de oasis de 0,7, son los siguientes:

TABLA N° 20

Evaporación Tanque "A" (mm) Período 1.973 – 1.990	
Enero	185,6
Febrero	152,2
Marzo	121,5
Abril	81,2
Mayo	54,0
Junio	36,2
Julio	41,0
Agosto	70,7
Septiembre	98,6
Octubre	125,1
Noviembre	144,9
Diciembre	182,1
Total	1.293,1

Si bien, estos valores no están actualizados, los valores medios no cambian sustancialmente, salvo considerar el calentamiento global, en cuyo caso pueden elevarse.

5.6. INFILTRACIÓN

Como se dijo, en áreas de llanura los bajos gradientes determinan movimientos lentos del agua, favoreciendo la infiltración. Por ello, los aportes de agua que recibe el suelo son mayores y durante períodos de tiempo más prolongados, provocando la elevación de la capa freática.

Si bien, la infiltración es mayor en épocas de sequía, siempre disminuye en función del tiempo. Debe tenerse presente que las aguas de escorrentía arrastran importantes cantidades de suelos muy finos (limos), más materias orgánicas y oxígeno, produciéndose una continua y constante colmatación de los poros pertenecientes a los suelos dispuestos en el fondo del reservorio. Este efecto hace disminuir considerablemente la infiltración, más aún si las aguas son permanentes.

El suelo bajo el embalse se satura totalmente, produciéndose el movimiento del agua bajo las leyes de la conductividad hidráulica; ésta toma valores pequeños resultando reducido entonces, el escape profundo del líquido.

Durante períodos húmedos, la elevación del nivel freático hace disminuir gradualmente la zona de aireación del suelo, pudiendo llegar a situaciones críticas de saturación del terreno y afloramiento en superficie. En estos casos, se ve impedida la infiltración, y se presentan las características situaciones de inundación, abarcando extensas áreas y durante prolongados períodos, debido a que no se evacúan mediante escurrimientos superficiales.

A fin de establecer la magnitud de la infiltración, se realizó un balance hídrico para el año 2.008, de acuerdo a datos recopilados y estimaciones de variación de niveles en las lagunas de afinamiento. Se observó que para una lluvia anual de 617 milímetros, el descenso promedio de las lagunas fue de 480 milímetros, sabiendo que la evaporación media anual es de 1.293,1 milímetros.

Por lo tanto, conociendo los aportes cloacales anuales y desestimando escurrimientos, se determinó una infiltración anual promedio de 1.410 milímetros. Obviamente, este valor variará anualmente de acuerdo a cómo varíen la precipitación y la evaporación.

El balance fue determinado mediante precipitaciones registradas en el Aeródromo de General Pico, distante unos 1.800 metros de las piletas de tratamiento, y tomando la evaporación media del período 1.973 - 1.990. A efectos de estimar tendencias futuras, deberían ajustarse estos valores, tomando nuevas mediciones y dentro del área de estudio, ya que las precipitaciones presentan sensibles variaciones espaciales.

5.7. NIVELES ESTÁTICOS

El nivel estático obtenido del freatómetro ubicado en el Sureste de las piletas es actualmente de 2,60 metros medido desde el terreno. Ello permite inferir que las lagunas se encuentran colgadas en relación con el acuífero. Es decir, no reciben aportes de éste.

Asimismo, en pozos cercanos los niveles son:

Pozo 21 = 5,95 m. desde nivel de terreno, siendo el origen 2,96 m.

Pozo 41 = 3,65 m. desde nivel de terreno, siendo el origen 2,63 m.

Pozo 42 = 5,35 m. desde nivel de terreno, siendo el origen 3,50 m.

Ello muestra que la explotación de los pozos ha producido un descenso progresivo del nivel del acuífero y por lo tanto no se tendrá en cuenta el aporte subterráneo en las lagunas de afinamiento.

5.8. ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES

A continuación se observan los análisis de laboratorio de muestras extraídas en las lagunas de tratamiento:

TABLA N° 21

Fecha de Extracción: 9/12/2009

MUESTRA N°	2752	2753	2754
Procedencia	CRUDO	LAGUNA II	RIEGO
pH	7	9	10
Temperatura (°C)	23,9	21,2	20,05
O.D. (mg/l)	2,9	20,1	11,7
Color	marrón pardo	verde intenso	verde opaco
Olor	Nauseabundo	Nauseabundo	Nauseabundo
Aspecto	turbio	turbio	turbio
Conductividad (mS/cm)	1,51	1,54	1,96
S.S. 10 min. (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1
S.S. 2 hs. (mg/l)	0,6	0,1	< 0,1
S.T. Disueltos 103 °C (mg/l)		286	222
D.Q.O. (mg/l)	523,5	381,5	364
D.B.O. 5 días (mg/l)	296	77	66
Sulfatos (SO ₄ ⁼ mg/l)			110,00
Dureza Total (CaCO ₃ mg/l)			198
Calcio (CaCO ₃ mg/l)			31,2
Magnesio (CaCO ₃ mg/l)			29,28
Alcalinidad Total (CaCO ₃ mg/l)			718
Carbonatos (CaCO ₃ mg/l)			196
Bicarbonatos (CaCO ₃ mg/l)			522
Cloruros (Cl ⁻ mg/l)			172
Arsénico (As mg/l)			0,063
Flúor (F ⁻ mg/l)			3,00
Nitrato (NO ₃ ⁻ mg/l)			40
Nitrito (NO ₂ ⁻ mg/l)			***
Hierro (Fe mg/l)			0,50
BACTERIOLOGICO			
Dilución empleada			1 en 10.000
Colif.Totales (NMP / 100 ml)			> 16 x 10 ⁷
Colif.Fecales (NMP / 100 ml)			< 1
Escherichia coli			< 1
Rcto.heter.placa (UFC / ml)			2 x 10 ⁴
Pseudomona			***

TABLA N° 22

Fecha de Extracción: 5/3/2010

MUESTRA N°	399	400	401	402
Procedencia	CRUDO	LAGUNA II	LAGUNA III	RIEGO
pH	7	10	10	10
Temperatura (°C)	24,1	20,2	19	21,8
O.D. (mg/l)	1,8	6,7	10,1	10,6
Color	gris	verde intenso	amarillo	verdoso
Olor	nauseabundo característico	nauseabundo característico	nauseabundo característico	nauseabundo característico
Aspecto	turbio	turbio	turbio	turbio
Conductividad (mS/cm)	1,2	1,21	1,38	1,58
S.S. 10 min. (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
S.S. 2 hs. (mg/l)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
S.T. Disueltos	805	810	920	1051
D.Q.O. (mg/l)	561,5	458	444,5	338
D.B.O. 5 días (mg/l)	270	170	93	65
Sulfatos (SO ₄ ⁻ mg/l)	***	***	***	87
Dureza Total (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	104
Calcio (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	16
Magnesio (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	15,62
Alcalinidad Total (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	554
Carbonatos (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	128
Bicarbonatos (CaCO ₃ mg/l)	***	***	***	426
Cloruros (Cl ⁻ mg/l)	***	***	***	140
Arsénico (As mg/l)	***	***	***	0,042
Flúor (F ⁻ mg/l)	***	***	***	2,2
Nitrato (NO ₃ ⁻ mg/l)	***	***	***	8,6
Nitrito (NO ₂ ⁻ mg/l)	***	***	***	0,407
Hierro (Fe mg/l)	***	***	***	0,98
Sodio (Na mg/l)	***	***	***	395

TABLA Nº 23

Fecha de Extracción: 19/05/2010

MUESTRA Nº	759	760	761
Procedencia	CRUDO	LAGUNA II	RIEGO
pH	7	8	9
Temperatura (°C)	18,6	9,5	9,1
O.D. (mg/l)	1,6	11,5	13,4
Color	grisáceo	verde oscuro	verde claro
Olor	característico	característico	característico
Aspecto	turbio	turbio con algas	turbio
Conductividad (mS/cm)	1,56	1,41	1,51
S.S. 10 min. (mg/l)	0,3	< 0,1	< 0,1
S.S. 2 hs. (mg/l)	1,6	< 0,1	< 0,1
S.T. Suspensión (mg/l) secados a 103 °C		137	41
S.T. Disueltos (mg/l)	1043	938	1009
D.Q.O. (mg/l)	478	459	359
D.B.O. 5 días (mg/l)	296	181	71
Sulfatos (SO ₄ ⁼ mg/l)			82
Dureza Total (CaCO ₃ mg/l)			132
Calcio (CaCO ₃ mg/l)			20,8
Magnesio (CaCO ₃ mg/l)			19,52
Alcalinidad Total (CaCO ₃ mg/l)			528
Carbonatos (CaCO ₃ mg/l)			96
Bicarbonatos (CaCO ₃ mg/l)			432
Cloruros (Cl ⁻ mg/l)			138
Arsénico (As mg/l)			0,055
Flúor (F ⁻ mg/l)			1,76
Nitrato (NO ₃ mg/l)			0,4
Nitrito (NO ₂ mg/l)			0,248
Hierro (Fe mg/l)			0,80

En la Figura Nº 9 vemos los puntos de toma de las muestras:

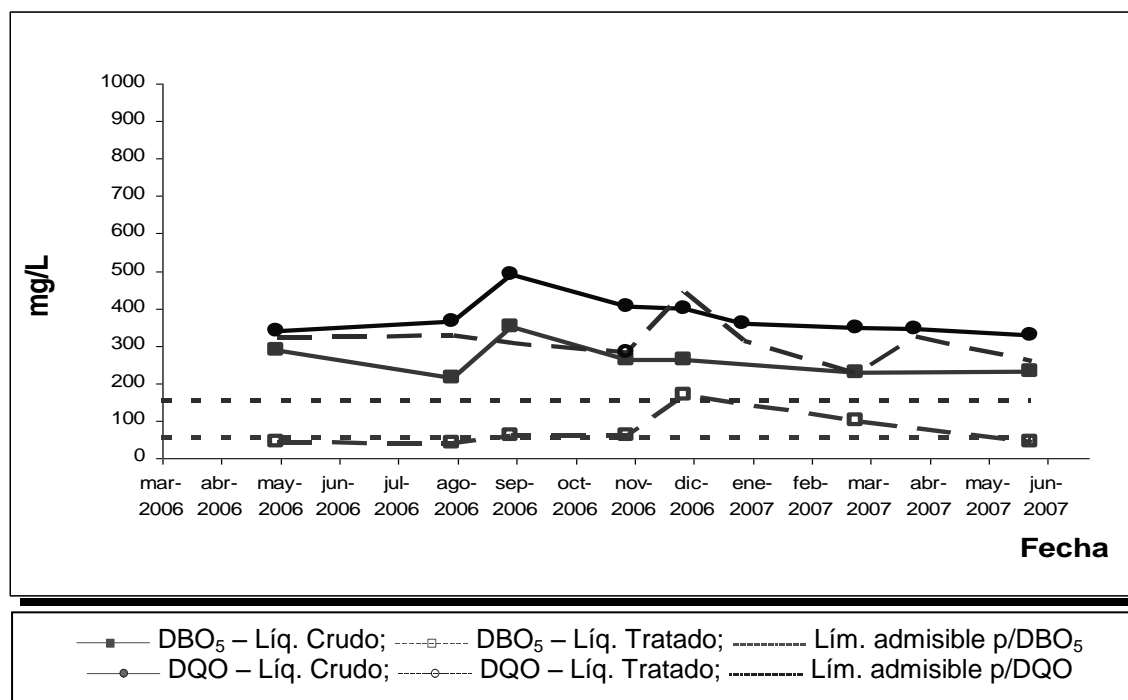
1. Ingreso del Crudo (Cámara de Carga)
2. Paso de Laguna Nº 2 a Laguna Nº 3
3. Paso de Laguna Nº 3 a Laguna Nº 4
4. Toma en Laguna de Riego

FIGURA N° 9



En el Gráfico N° 10 se observa la variación de los valores de la DBO₅ y DQO en un año y los límites admisibles. (MUÑOZ, M. A., *et al*, 2008)

FIGURA N° 10



5.9. BALANCE HIDRICO ANUAL

Se realizaron balances hídricos anuales considerando un área de recepción de 300 ha, fijándose como horizonte de diseño el año 2.040.

Teniendo en cuenta las precipitaciones históricas sucedidas en la ciudad, se obtendrá un valor mínimo y un valor medio anual para satisfacer necesidades de riego, y un valor máximo anual para eventuales necesidades de evacuación de aguas por inundación. Para las tres situaciones se empleará la siguiente expresión:

$$\text{Balance Hídrico Anual} = > \Delta L = (P + Q_{\text{cloac.+ind.}} + 0.3 P + Es) - (Ev + I)$$

1) Los valores mínimos anuales para el caso de reutilización de aguas residuales para riego son:

$$P_{\text{mayorada (2020)}} = 403,7 \text{ mm}$$

$$P_{\text{mayorada (2030)}} = 403,7 \text{ mm}$$

$$P_{\text{mayorada (2040)}} = 403,7 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2020)}} = 16.649 \text{ m}^3/\text{día} = (16.649 \times 365/3.000) \text{ mm} = 2.025,6 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2030)}} = 21.133 \text{ m}^3/\text{día} = (21.133 \times 365/3.000) \text{ mm} = 2.571,2 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2040)}} = 26.083 \text{ m}^3/\text{día} = (26.083 \times 365/3.000) \text{ mm} = 3.173,4 \text{ mm}$$

$$0,3 P_{2020} = 121,1 \text{ mm}$$

$$0,3 P_{2030} = 121,1 \text{ mm}$$

$$0,3 P_{2040} = 121,1 \text{ mm}$$

$$Es = 0 \text{ mm}$$

$$Ev_{2020} = 1.350 \text{ mm}$$

$$Ev_{2030} = 1.350 \text{ mm}$$

$$Ev_{2040} = 1.350 \text{ mm}$$

$$Inf_{2020} = 1.410 \text{ mm}$$

$$Inf_{2030} = 1.410 \text{ mm}$$

$$Inf_{2040} = 1.410 \text{ mm}$$

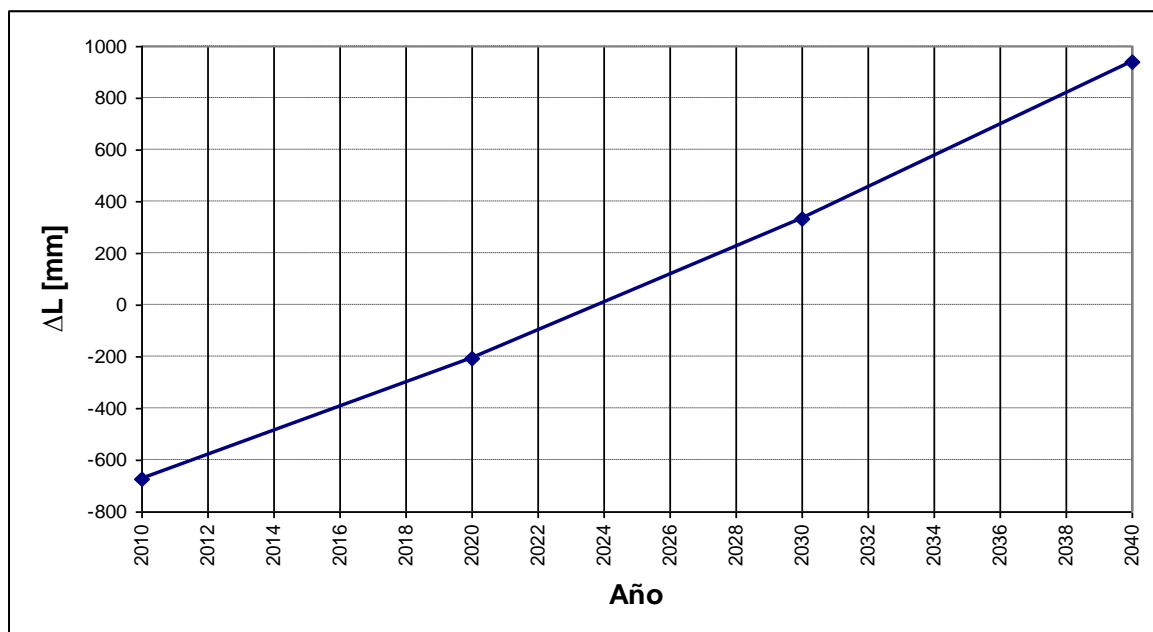
TABLA N° 24

Año	2.020	2.030	2.040
ΔL (mm)	- 209,6	336	938,2
Q (m³/h)	- 71,8	115,1	321,3

Con relación a las precipitaciones, se tomó el mínimo histórico ocurrido en el año 1.937 (367 milímetros anuales) y se le adicionó un 10% considerando el calentamiento global, a partir del año 2.020. Los líquidos cloacales tratados se calcularon en función de la dotación de agua prevista en el Estudio del ARC extrapolada hasta el año 2.040 y se consideró un volumen adicional de 14% en concepto de desagües industriales.

La evaporación media también fue mayorada a partir del año 2.020, por tener en cuenta los efectos a futuro del calentamiento global. La infiltración se consideró constante. El siguiente gráfico (Figura N° 11) representa los ascensos de nivel en el cuenco en función de los años, de acuerdo a las situaciones consideradas:

FIGURA N° 11



Se observa que existiría déficit hídrico y sólo comenzarían a producirse excedentes para riego a partir del año 2.024. Debe tenerse en cuenta además que el acuífero posee en la actualidad un nivel freático de 2,60 metros, medido desde el terreno, en la zona de piletas.

Los antecedentes para la elaboración del proyecto de la obra de desagües cloacales de Gral. Pico en el año 1.969 habían considerado una precipitación media anual de 500 mm con una profundidad mínima de la napa freática en el área de la ciudad de 10 metros.

El aumento de aporte hídrico de los últimos años húmedos, derivó en una colmatación del área de descarga, limitando la capacidad de absorción de los suelos y produciendo el ascenso de la napa freática. Posteriormente, se sucedieron años de sequía y, actualmente, los volúmenes existentes en el cuenco receptor representan 910.000 m³ (superficie anegada de aproximadamente 130 ha con una profundidad de 0,70 m).

Si en los próximos años siguiera produciéndose déficit hídrico, disminuiría gradualmente el volumen almacenado, hasta el año 2.024, permitiendo recuperar la capacidad de recepción del cuenco y bajar los niveles freáticos.

2) Los valores a utilizar con ocurrencia de precipitaciones medias históricas son:

$$P_{\text{mayorada (2020)}} = 809 \text{ mm}$$

$$P_{\text{mayorada (2030)}} = 809 \text{ mm}$$

$$P_{\text{mayorada (2040)}} = 809 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2020)}} = 16.649 \text{ m}^3/\text{día} = (16.649 \times 365/3.000) \text{ mm} = 2.025,6 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2030)}} = 21.133 \text{ m}^3/\text{día} = (21.133 \times 365/3.000) \text{ mm} = 2.571,2 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind(2040)}} = 26.083 \text{ m}^3/\text{día} = (26.083 \times 365/3.000) \text{ mm} = 3.173,4 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2020} = 242,7 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2030} = 242,7 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2040} = 242,7 \text{ mm}$$

$$E_s = 0 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2020}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2030}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2040}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$I_{n_{2020}} = 1.410 \text{ mm}$$

$$I_{n_{2030}} = 1.410 \text{ mm}$$

$$I_{n_{2040}} = 1.410 \text{ mm}$$

TABLA N° 25

Año	2.020	2.030	2.040
ΔL (mm)	317,3	862,9	1.465,1
Q (m³/h)	108,7	295,5	501,7

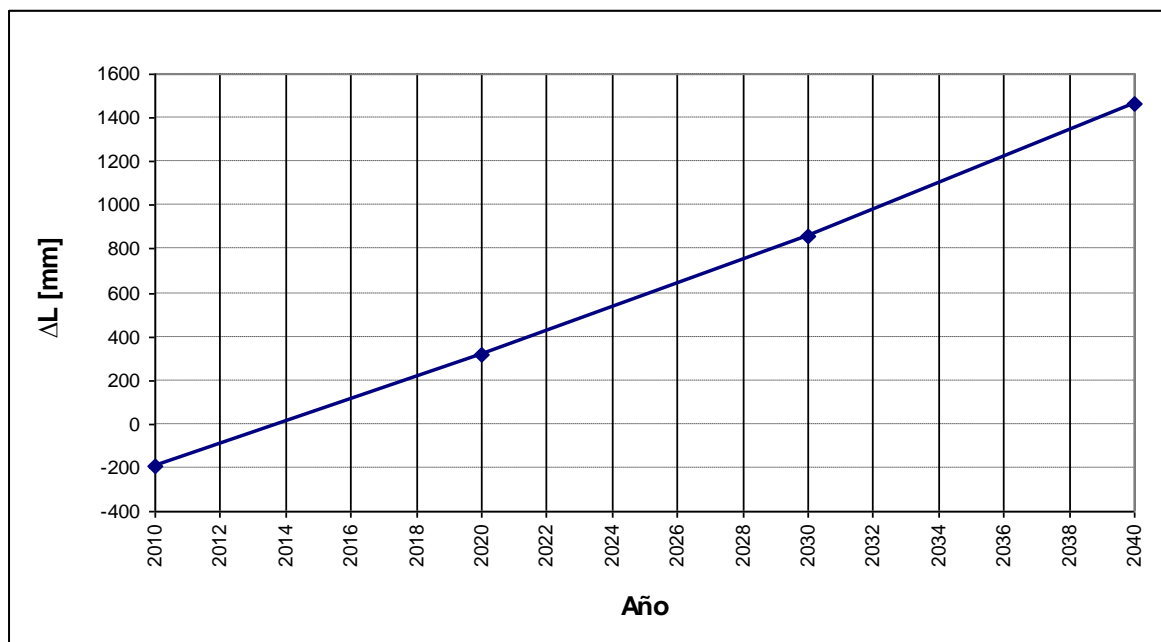
Se consideró la media histórica (736,7 milímetros anuales) y se le adicionó un 10% considerando el calentamiento global, a partir del año 2.020.

Los líquidos cloacales tratados se calcularon en función de la dotación de agua prevista en el Estudio del ARC extrapolada hasta el año 2.040 y se consideró un volumen adicional de 14% en concepto de desagües industriales.

La evaporación media también fue mayorada a partir del año 2.020, por tener en cuenta los efectos a futuro del calentamiento global. La infiltración se consideró constante.

En el gráfico siguiente (Figura N°12) se observan los ascensos de nivel en el cuenco en función de los años, de acuerdo a las situaciones consideradas:

FIGURA N° 12



Con los datos utilizados, se observa que existiría déficit hídrico y sólo comenzarían a producirse excedentes para riego a partir del año 2014.

3) Los valores a utilizar en el caso de evacuación de aguas por inundación, debido a ocurrencia de precipitaciones máximas históricas son:

$$P_{(2020)} = 1.522,6 \text{ mm}$$

$$P_{(2030)} = 1.522,6 \text{ mm}$$

$$P_{(2040)} = 1.522,6 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind}(2020)} = 21.310 \text{ m}^3/\text{día} = (21.310 \times 365/3.000) \text{ mm} = 2.592,7 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind}(2030)} = 25.440 \text{ m}^3/\text{día} = (25.440 \times 365/3.000) \text{ mm} = 3.095,2 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{cloac+ind}(2040)} = 30.894 \text{ m}^3/\text{día} = (30.894 \times 365/3.000) \text{ mm} = 3.758,8 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2020} = 456,8 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2030} = 456,8 \text{ mm}$$

$$0,3P_{2040} = 456,8 \text{ mm}$$

$$E_s = 0 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2020}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2030}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$E_{V_{2040}} = 1.350 \text{ mm}$$

$$I_{f_{2020}} = 1.410 \text{ mm}$$

$$I_{f_{2030}} = 1.410 \text{ mm}$$

$$I_{f_{2040}} = 1.410 \text{ mm}$$

TABLA N° 26

Año	2.020	2.030	2.040
ΔL (mm)	1.812,1	2.314,6	2.978,2
Q (m³/h)	620,6	792,7	1.019,9

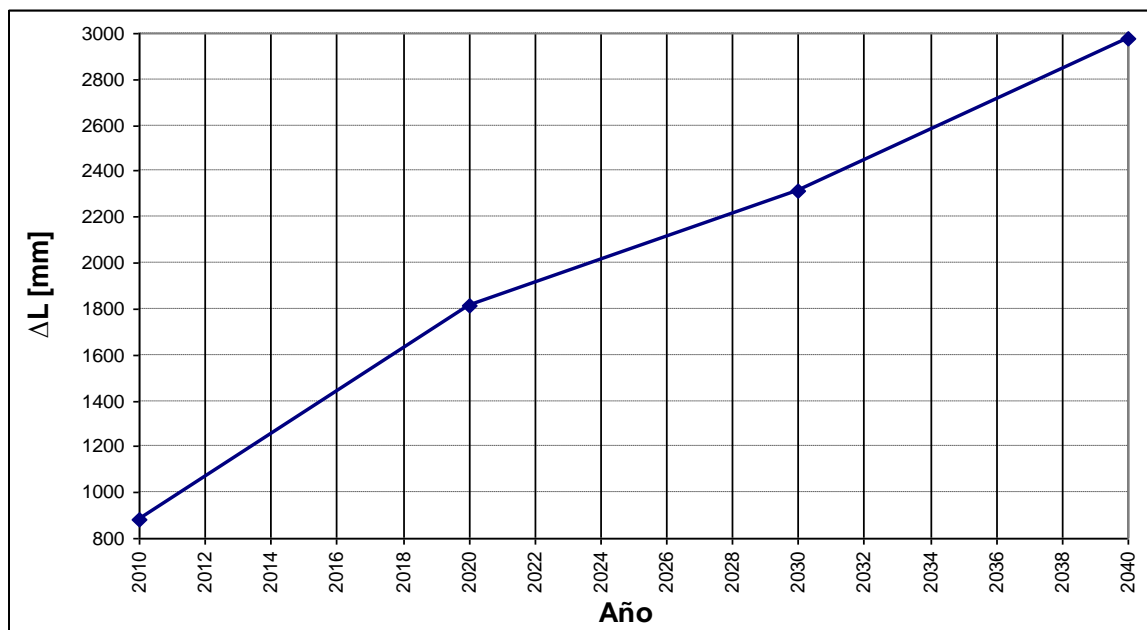
Se consideró la máxima precipitación histórica (1.522,6 milímetros anuales) sin mayorar por calentamiento global.

Para los líquidos cloacales tratados, se consideró el caudal proyectado en el Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico hasta el año 2040, donde se interpreta ya está adicionado el volumen adicional de 14% en concepto de desagües industriales, dada la diferencia de valores en relación con los proyectados en los estudios del ARC.

La evaporación media fue mayorada desde el año 2.010 por los efectos de calentamiento global. La infiltración se consideró constante.

En el gráfico siguiente (Figura N°13) se observan los ascensos de nivel en el cuenco en función de los años, de acuerdo a las situaciones consideradas:

FIGURA Nº 13



Para este supuesto, ya existirían excedentes disponibles para riego en el año 2010. Además, debería considerarse la eventual evacuación de mayores volúmenes, mediante la ejecución de conductos ó canalizaciones hacia otros destinos.

5.10. SUPERFICIE POTENCIAL A REGAR

La superficie potencial a ser cubierta con riego, dependerá del tipo de cultivo, de las condiciones climáticas imperantes durante su ciclo y del volumen de agua almacenada en los cuencos.

El sistema de riego por aspersión propuesto es el de pivot central, ya que permite la automatización del riego minimizando el contacto directo del agua con los operarios encargados de su funcionamiento.

De la evaluación de los cultivos factibles de utilizar se seleccionaron los siguientes cultivos, que serían destinados únicamente a la fabricación de balanceados para alimentación animal:

- ⇒ maíz y soja (de desarrollo estival)
- ⇒ trigo (de desarrollo invernal)

A fin de cubrir con riego la mayor parte del año se plantea una secuencia maíz - trigo - soja con un sobre uso del suelo del 33%, donde el maíz requiere 150 mm de riego complementario y por otra parte la secuencia trigo-soja requiere 200 mm de agua complementaria (RODRÍGUEZ MUSSO, 2000). Con esta dotación de riego se requerirá en promedio un volumen de agua de 1.750 m³/ha, que se debe afectar por un factor de eficiencia de aplicación de riego de 0,75, lo cual eleva este valor a 2.187 m³.

Por otra parte, tomando como base el caudal correspondiente al supuesto de precipitación igual a la media histórica y para el año 2040 (Tabla Nº 24), el caudal disponible para riego sería de unos 500 m³/h que representan 12.000 m³/día o sea

4.380.000 m³/año. Esta disponibilidad de agua tratada esperable para el año 2040 (con precipitaciones medias), permitiría el riego de unas 2.000 ha.

Estos caudales deben estar disponibles para el período de mayor demanda primavera-estival, para lo cual se requieren obras hidráulicas que permitan almacenar las aguas en los períodos de menor demanda.

Se evaluaron otras alternativas productivas: forrajeras como alfalfa y trébol de olor y el riego localizado de especies forestales como el Eucaliptus. Con estas especies se podría diversificar el uso de las aguas residuales y/o aprovechar suelos improductivos por diversas limitantes como su estructura y textura (médanos), profundidad del horizonte y contenido salino.

5.11. CALIDAD DE LOS EFLUENTES

Otro tema fundamental a tener en cuenta es la calidad de las aguas tratadas y el peligro para el medioambiente y la salud que implica su aspersión en la atmósfera.

Según la bibliografía consultada, los valores de DQO y DBO encontrados en la toma de riego (Figura N°9), están por encima de los recomendados por los organismos oficiales, como así también valores altos de CCT

En razón de los elevados tenores de DBO y DQO detectados en las aguas de toma destinadas a regadío que sobrepasan los límites permitidos (Figura N°10) y además que la laguna receptora (Laguna 3) se encuentra eutrofizada, con la presencia de gran cantidad de algas, se hace imprescindible antes de remitir los caudales a la zona de regadío, aplicarle un tratamiento eficaz.

Para ello se pensó en una pequeña planta de tratamiento cuyo fin es poner en condiciones el agua de regadío; la misma deberá contar con al menos las siguientes etapas:

- Ozonización, destinado a la oxidación y desinfección.
- Flotación por aire disuelto, cuyo objetivo es separación
- Filtración. El equipamiento de esta última etapa deberá estar destinado a utilizar filtros de carrera larga a efectos de minimizar la incidencia de mano de obra.

Además deberán realizarse los estudios necesarios, con la instalación de una planta piloto, a efectos de determinar la eficiencia de lo propuesto.

Otra alternativa sería un modelo con estas etapas de tratamiento:

- Ozonización, destinado a la oxidación y desinfección.
- Decantación con PAC (cloruro de polialuminio), yo he hecho ensayos con este producto que comercialmente se llama PAC 23.
- Filtración. El equipamiento de esta última etapa deberá estar destinado a utilizar filtros de carrera larga a efectos de minimizar la incidencia de la mano de obra de los operarios. (FORD R. *et al*, 2001)

Es recomendable además, que las autoridades pertinentes tomen recaudos para asegurar la salud de los operarios o cualquier otra persona que puedan exponerse al contacto directo con el agua.

Como ejemplo se puede mencionar una legislación mendocina que crea Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE) para riego con aguas residuales tratadas

HONORABLE TRIBUNAL ADMINISTRATIVO, provincia de Mendoza) que bien podrían adaptarse a nuestra realidad y permitir el uso del riego agrícola con un mínimo de riesgo sanitario.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de este trabajo se pueden destacar los siguientes conceptos:

6.1. La calidad de los efluentes ya tratados no cumple con los requerimientos mínimos que marca la legislación vigente para ser usados en riego agrícola, producto del mal funcionamiento de las piletas de tratamiento que están desbordadas en su capacidad (se requiere aumentar significativamente la superficie total de las piletas u optar por otra modalidad de tratamiento).

6.2. Es imprescindible el procesamiento del efluente previo a la exportación de los caudales, mediante una planta de tratamiento que no incluya la cloración, dado el alto contenido de biomasa con que cuenta el cuenco receptor, evitando así la generación de trihalometanos que son fuertemente cancerígenos. Además debe tenerse en cuenta la atenuación del elevado PH del agua, que no es recomendable para riego.

6.3. Si se analiza el peso de las distintas variables que intervienen en el balance hídrico, se observa que los líquidos cloacales tratados son los de mayor incidencia. Le siguen en orden de importancia, la evaporación, infiltración y precipitación, variables muy relacionadas con factores climáticos. En virtud que se espera en el futuro un aumento continuo de los líquidos cloacales en función del crecimiento de la población, mientras que las demás variables son aleatorias, al momento de proponer escenarios futuros deberían diseñarse obras para riego ó evacuación atendiendo a esta problemática.

6.4. Con relación al sistema de riego a utilizar, surge como mejor alternativa el de pivot central, por su mayor eficiencia en la aplicación del riego y la posibilidad de automatizarlo, lo cual permitiría un mínimo contacto del agua tratada con los operarios.

6.5. Se evidencia la necesidad de contar con un cuenco receptor alejado de la ciudad y que presente un subsuelo muy poco permeable, a fin de evitar la contaminación del acuífero; de tal manera se resolvería la situación que se puede dar en épocas de muy baja evapotranspiración (invierno), coincidiendo con valores de precipitación muy altos, evitando así los desbordes del cuenco receptor.

6.6. De acuerdo a la situación que se adopte, deberían dimensionarse las obras hidráulicas considerando los siguientes parámetros:

$$\Delta H_{G(\text{cuenco-campo})} = +5 \text{ metros}$$

$$\Delta H_{G(\text{cruce-campo})} = +1,7 \text{ metros}$$

$$\Delta H_{G(\text{campo-canal})} = +13 \text{ metros}$$

$$\Delta H_{G(\text{cuenco-canal})} = +18 \text{ metros}$$

$$\Delta L_{(\text{cuenco-campo})} = 6.550 \text{ metros}$$

$$\Delta L_{(\text{cruce-campo})} = 3.650 \text{ metros}$$

$$\Delta L_{(\text{campo-canal})} = 4.800 \text{ metros}$$

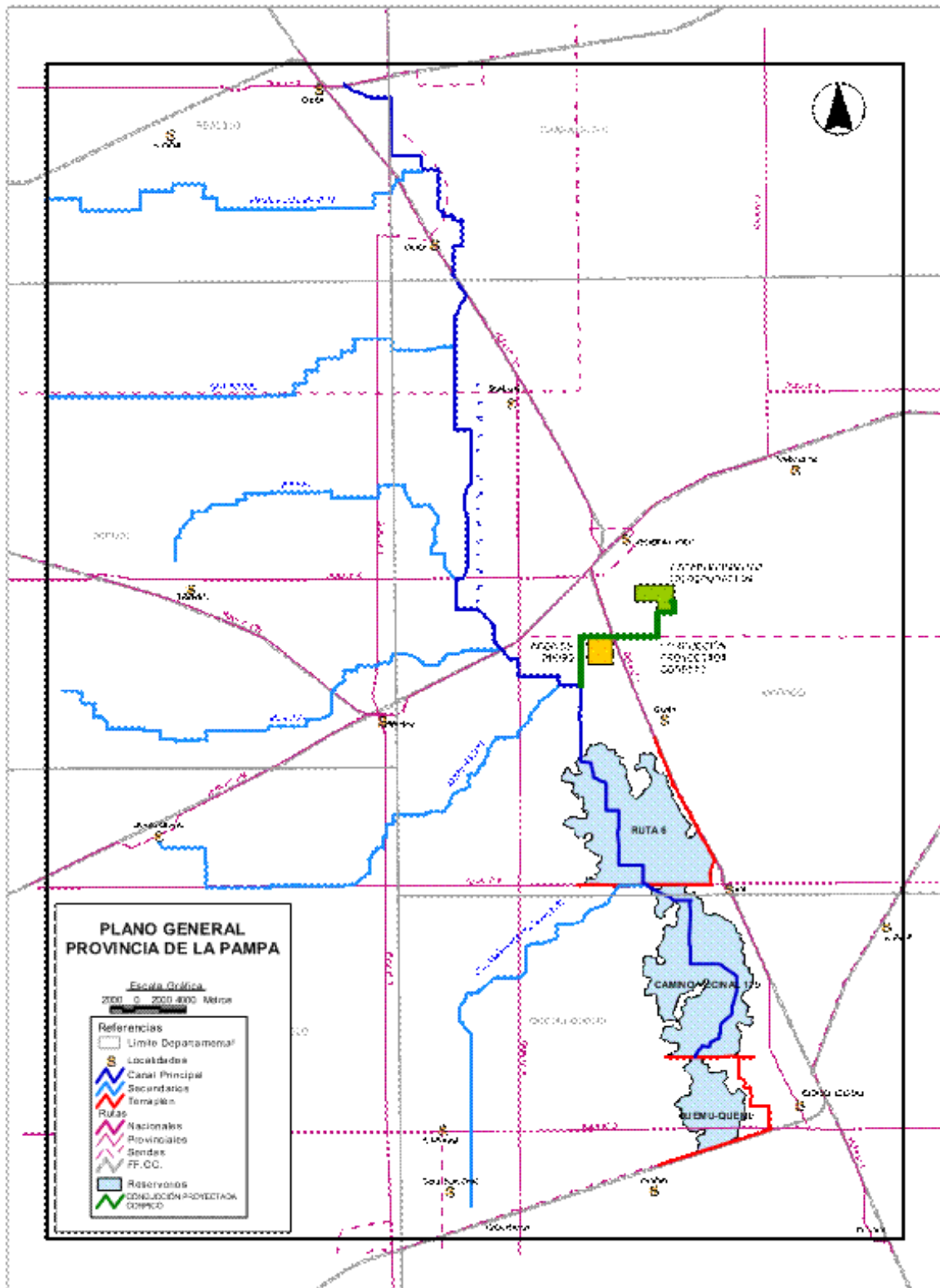
$$Q_{2020} \text{ (Precipitaciones medias)} = 108,7 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{2030} \text{ (Precipitaciones medias)} = 295,5 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{2040} \text{ (Precipitaciones medias)} = 501,7 \text{ m}^3/\text{hora}$$

En plano siguiente (Figura N° 14) se observa la traza del canal donde se proyecta desembocar la tubería:

FIGURA N° 14



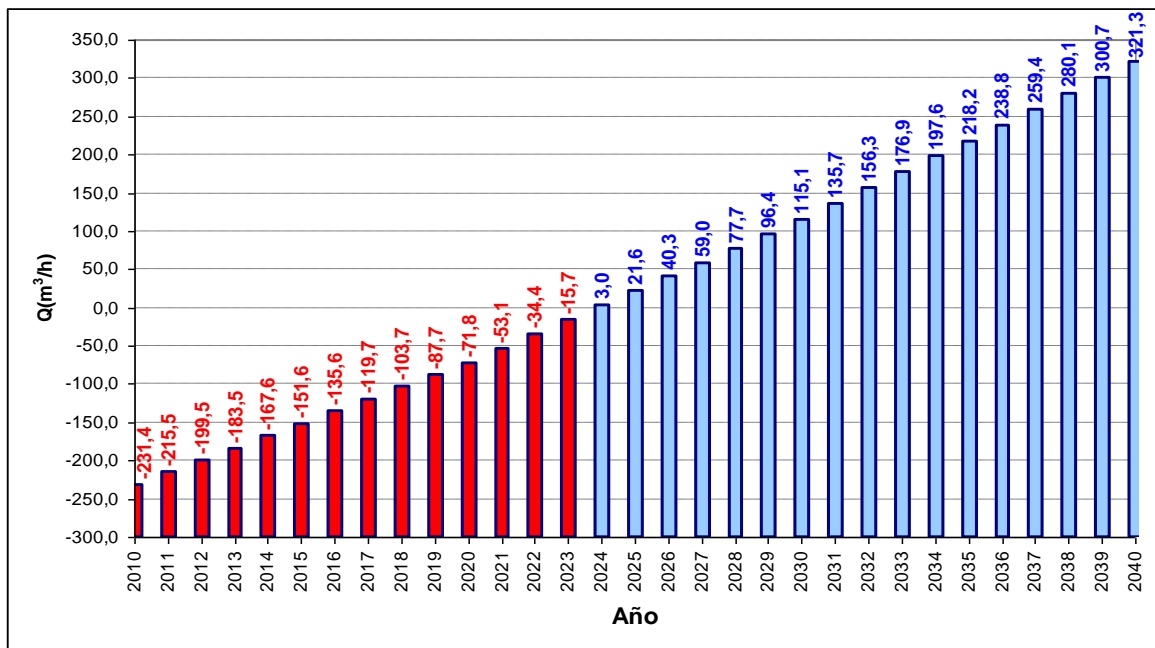
6.7. Según se produzcan períodos húmedos ó secos y, de acuerdo a los balances hídricos realizados, existen distintas posibilidades para evacuar las aguas que se acumulen en los cuencos receptores del campo de derrame:

A) En años que se produzcan precipitaciones mínimas, deberían estimarse

diferencias de nivel anual de (- 209,6) mm en el año 2.020 hasta 938,2 mm en el año 2.040, considerando una superficie de derrame de 300 has. Si bien, estos años determinan caudales cuya entrega puede garantizarse, no sería apropiado adoptarlos para el diseño de las obras, en virtud que sólo existirían excedentes hídricos para riego a partir del año 2.024.

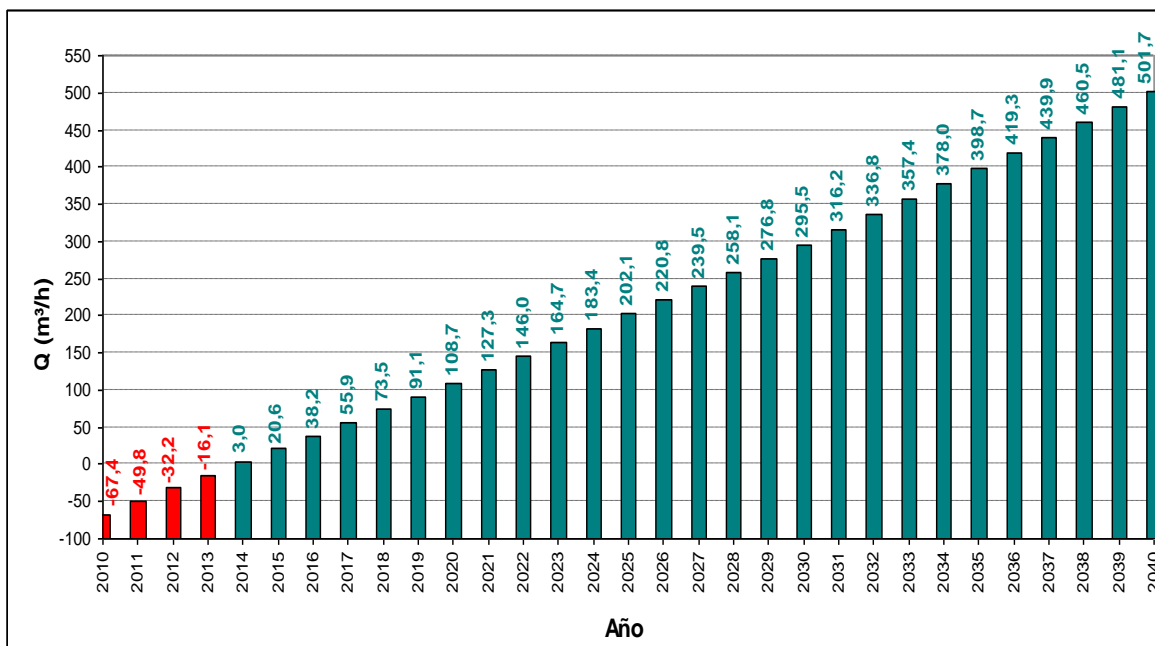
Los balances hidrológicos anuales para precipitaciones mínimas determinan los caudales promedio que se presentan en el gráfico siguiente, hasta el año 2.040:

FIGURA Nº 15



B) En años que se produzcan precipitaciones medias, deberían estimarse diferencias de nivel anual de (317,3) mm en el año 2.020 hasta 1.465,1 mm en el año 2.040. Los balances hidrológicos anuales para precipitaciones medias, determinan los caudales promedio que se presentan en el gráfico siguiente, hasta el año 2.040:

FIGURA Nº 16



C) En años que se produzcan precipitaciones máximas y adoptando los caudales cloacales proyectados en el Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la Ciudad de General Pico, deberían estimarse diferencias de nivel anuales de 1.812,1 mm en el año 2.020 hasta 2.978,2 mm en el año 2.040, considerando una superficie de derrame de 300 has.

Los caudales a evacuar serían los siguientes:

$$Q_{2020} = 1.812,1 \text{ mm anuales} \times 300 \text{ ha} = 620,6 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{2030} = 2.314,6 \text{ mm anuales} \times 300 \text{ ha} = 792,7 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Q_{2040} = 2.978,2 \text{ mm anuales} \times 300 \text{ ha} = 1.019,9 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Si se tiene en cuenta la sequía de los últimos años, podríamos estar atravesando la rama descendente de un megaciclo en la curva de tendencia polinómica, confeccionada mediante precipitaciones históricas sucedidas en la ciudad, que se observa en la Figura N°7 de la página 55.

6.8. Considerando la posibilidad de bombear líquidos excedentes desde la laguna de afinamiento hacia campos vecinos para riego, la longitud total de impulsión sería aproximadamente de 6.500 metros, con un desnivel descendente aproximado de 5 metros. En situaciones de emergencia, donde se considere la evacuación de mayores caudales hacia el canal principal proyectado en la obra de regulación y control de inundaciones en el noreste de La Pampa, la longitud total de impulsión sería de 11.350 metros y la diferencia de nivel descendente aproximadamente 18 metros. En la Figura N°17 se observa el proyecto de conducción hacia campos vecinos:

FIGURA N° 17



CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

7.1. Se puede concluir que la Hipótesis planteada en esta Tesis no se cumple, dado que no se dan las condiciones de calidad del agua para riego agrícola que obligan las normas medioambientales vigentes.

7.2. Que para poder regar en forma complementaria cultivos extensivos, es necesario tratar convenientemente el efluente y realizar las obras de ingeniería requeridas para exportar los caudales, almacenarlos y luego distribuirlos.

7.3. Consecuentemente es imprescindible proyectar y ejecutar una planta de tratamiento eficaz, acorde al aumento de poblacional y a las nuevas tecnologías de procesamiento de efluentes con que se cuenta en la actualidad.

7.4. Además se requiere la impermeabilización del cuenco receptor al efecto de detener la contaminación del acuífero.

7.5. Es importante que en el futuro se realicen mediciones periódicas de los niveles de las piletas, de la napa freática (mediante freatógrafos), un seguimiento sistemático de la calidad del efluente y la medición de la evaporación que actualmente no se realiza, a fin de contar con la información básica para la elaboración del proyecto de la planta de tratamiento.

CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES

Las conclusiones vertidas en el presente trabajo deben considerarse preliminares, en virtud que son producto de una recopilación de datos y estudios existentes, enriquecida con la incorporación de nuevos datos, su clasificación y correlación entre los mismos.

En lo personal, se trata de un primer abordaje sobre el tema de investigación en la zona y, si bien los resultados alcanzados incluyen incertidumbres (en virtud de haberse propuesto escenarios basados en suposiciones y aproximaciones), la manera de suplir la escasez de información en algunos casos y los procedimientos de cálculo realizados, pueden considerarse aceptables para regiones complejas como una cuenca de llanura.

No obstante ello, se puede mejorar la calidad de los resultados conformando un equipo de trabajo que realice un estudio integral del comportamiento hidrológico del sistema, incluyendo su simulación mediante modelación. Debería constituirse un modelo matemático hidrológico apto para tal fin y realizar una calibración global del mismo, que incluya procesos hidrológicos superficiales, subterráneos y parámetros que caracterizan la zona no saturada.

Asimismo, podrían utilizarse imágenes satelitales y herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) para el procesamiento y clasificación de las mismas, determinando áreas, perímetros de lagunas, presencia de sales, evolución de la cobertura vegetal en la cuenca de estudio, etc.

Respecto a la información se recomienda:

- Analizar el comportamiento de cada componente del ciclo hidrológico en zonas de llanura, con objeto de verificar los datos obtenidos.

- Analizar los procesos de distribución del agua y clasificarlos en orden de importancia, a efectos de priorizar predicciones.
- Analizar la incidencia de los escurrimientos superficiales en el balance hidrológico, teniendo en cuenta su relación con la creciente urbanización.

Respecto al impacto ambiental registrado:

- Deberían realizarse con mayor asiduidad análisis físico-químicos y bacteriológicos del líquido de ingreso y egreso de las piletas de tratamiento, con objeto de monitorear la calidad del agua a entregar para riego ú otros usos que pudieran destinarse.
- Debería analizarse con que intensidad se están salinizando las lagunas de afinamiento final, considerando que funcionan como descarga de los líquidos cloacales tratados y se espera en el futuro un permanente y creciente aporte de estos líquidos, acompañado de evaporación del agua. Debe tenerse presente que las lagunas se hallan ubicadas sobre el acuífero que alimenta a la ciudad, pudiendo infiltrar y contaminar el mismo. Por lo tanto, deberían evaluarse soluciones integrales: lugares alternativos de descarga y/ó refuncionalización de todos los líquidos que llegan a la misma.
- Realizar un seguimiento de la evolución físico-química del acuífero subyacente a las lagunas de afinamiento y medir sistemáticamente la distancia entre el fondo de las lagunas y el límite superior del acuífero, con objeto de prever y evitar contaminación en él.

Respecto a las metodologías empleadas:

- Utilizar tratamiento de imágenes de satélite para conocer la topografía de la zona de estudio y poder definir con adecuada exactitud la cuenca de aporte a la laguna.
- Determinar la cobertura vegetal mediante la incorporación y clasificación de imágenes de satélite, a efectos de estimar entre otras cosas, escurrimientos superficiales en la cuenca de aporte a la laguna.
- Evaluar distintos métodos para el tratamiento de la información, a efectos de determinar el más exacto y aplicable al estimar tendencias futuras.

Respecto a las mediciones:

- Realizar mayor cantidad de mediciones, con continuidad y llevar estadísticas de los distintos factores intervinientes en el balance hidrológico.
- Instalar una estación automática, con pluviógrafo y un tanque de evaporación en la zona de estudio.
- Instalar nuevamente un caudalímetro en el ingreso a la Planta de Tratamiento a efectos de verificar los caudales tratados que ingresan a la laguna.
- Realizar con mayor frecuencia mediciones de los niveles de pelo de agua y batimetrías en las lagunas de afinamiento.
- Actualizar mediciones de niveles estáticos y dinámicos del acuífero en la zona, para determinar su evolución en relación con las lagunas.
- Realizar balances volumétricos, en lugar de utilizar sólo la variación en altura.

- Realizar ensayos de infiltración en distintos puntos de la cuenca, a efectos de conocer los valores en ella y determinar su evolución en función del tiempo, dado que se adoptó un valor constante en los balances, cuando se sabe que es un parámetro decreciente.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- A.A.T.S.E. (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering); (2004): Water Recycling in Australia. Victoria, Australia.
 - AGUILERA CONTRERAS, M. y MARTÍNEZ ELIZONDO, R.; (1996): Relación Agua Suelo - Planta - Atmósfera. pp. 209-218. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
 - AL-RADAIDEH, I.; (1992): Die Nutzung von Abwasser zur Trinkwasserversorgung und in der Landwirtschaft in ariden Gebieten. - Schriftenreihe GWA 128, Aachen.
 - ALLEN, R.G. y PRUITT, W.O.; (1991): FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 117(5): 758-773. New York. Estados Unidos.
 - AMÓRTEGUI SEGUÍ, LUIS; (2004): La Reutilización de Agua Regenerada para el Riego Agrícola de las Viñas del Garbet. Colera. Girona. España.
- APA (Administración Provincial del Agua) - Ing. Miguel Muñoz, Lic. Beatriz Buitrón Lic. José A. de Ormaechea; (2006): 1º Informe – Efluentes Cloacales.
- ASANO, T.; SMITH, R.; TCHOBANOGLOUS; (1982): Agua Residual Municipal: Gestión de Recursos Hídricos. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
 - BALAIRÓN, P.L.; (2002): Tratamiento y Características del Agua Residual Regenerada. California. EE.UU.
 - BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID); (2007): Gestión Integrada de Recursos Hídricos.
 - CUTHBERT, R.W. y HAJNOSZ, A.M.; (1999): Setting reclaimed water rates. Journal of the American Water Works Association, Vol. 91, no. 8, pág. 50-57.
 - BLANEY, H.F. y CRIDDLE, W. D.; (1950): Determining Water needs From Climatological Data. United States Department of Agriculture (U. S. D. A.) Soil. Alexandria. Virginia. Estados Unidos.
 - CALMELS, A.; (1996): Bosquejo Geomorfológico de la provincia de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de La Pampa.
 - CAMPAÑA, H; (2007): Tratamiento de Efluentes (Sección D). Tema 12: Tratamiento y Disposición de Barros Residuales. Cátedra Ingeniería Sanitaria. Universidad Tecnológica Nacional. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.
 - CAÑO, E; CASAGRANDE, G; CONTI, H; SALAZAR, J; PEÑA, C; MALDONADO, D; MARTÍNEZ, H; HEVIA, R; SCOPPA, C; FERNÁNDEZ, B; MONTES, M; MUSTO, J; PITTALUGA, A.; (1980): Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa.
 - CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente)/ OPS (Organización Panamericana de la Salud); (2002): Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial.
 - CHANETON, E.J.; (2006): Impacto ecológico de las perturbaciones naturales. Las inundaciones en pastizales pampeanos. Ciencia Hoy 16, 18-32.

- CIFUENTES, O; (2006): Desagües Industriales - Primera Parte. Apunte Cátedra Ingeniería Sanitaria - Capitulo XIV - Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.
- CONSORCIO EIH Y ENE-I; (1987): Estudio integral para el saneamiento urbano y suburbano de la ciudad de General Pico. Administración Provincial del Agua, Tomo 1, Santa Rosa. La Pampa. Argentina (inédito).
- COOPERATIVA REGIONAL DE ELECTRICIDAD, DE OBRAS Y OTROS SERVICIOS DE GENERAL PICO LIMITADA (CORPICO); (1999): Planta de Tratamiento y Deposición Final de Efluentes. General Pico. La Pampa. Argentina.
- COOPERATIVA REGIONAL DE ELECTRICIDAD, DE OBRAS Y OTROS SERVICIOS DE GENERAL PICO LIMITADA (CORPICO); (2010): Reutilización de Aguas Residuales Cloacales e Industriales Tratadas para Riego. General Pico. La Pampa. Argentina.
- CROOK, J.; (1990): Aspectos Sanitarios y Reglamentarios. In: Mujeriego (Edit). Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- DIRECCIÓN DE AGUAS PROVINCIA DE LA PAMPA; (2000): Deposición Final de Excedentes Hídricos de Lagunas de Tratamiento Cuenco Receptor Bajo La Consecuencia - El Pavón. La Pampa. Argentina.
- ERTOLA, R; YANTORNO, O. y MIGNONE, C; (2009): Monografía Redactada - Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Buenos Aires. Argentina.
- ESTUDIO INGENIERÍA HIDRÁULICA S.A.; (1987): Estudio Integral para El Saneamiento Urbano y Suburbano de la ciudad de General Pico. La Pampa. Argentina.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; (2006): Estudio Riego y Drenaje Nº 56: "Evapotranspiración del Cultivo", Guías Para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos.
- FORD R., CARLSON M., BELLAMY, W.; (2001): Pilot – testing. Journal Water Works Association. Vol. 93. Nº5, 66-67.
- FRANKLIN CONSULTORA S.A., INGENIEROS CONSULTORES HIDROSUD ARGENTINA S.A.; (1990): Desagües Cloacales de la ciudad de Santa Rosa. Informe Final Volumen IV-Capítulo 5. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- FUNDACIÓN ARGENTINA DEL MEDIO AMBIENTE (FUNDAMA); (2009): La problemática de los residuos urbanos. Buenos Aires. Argentina.
- GIAI, S.B.; (1975): Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS). Informe Preliminar. Inédito. Dirección de Aguas Subterráneas de La Pampa, Santa Rosa.
- GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA - Ministerio de la Producción; (1998): Tratamiento y Reutilización Agrícola de Las Aguas Residuales de Santa Rosa. Informe Final. Documento 4/98. La Pampa. Argentina.

- HONORABLE TRIBUNAL ADMINISTRATIVO, Departamento General de Irrigación, provincia de Mendoza; (2003): Reglamentación de Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (A.C.R.E.).
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME); (2003): Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. El Riego y su Impacto en la Calidad del Agua Subterránea. Punjab. Paquistán. Jordania.
- MAAS, E.V. Y GRATTAN, S.R.; (1999): Crop yields as affected by salinity. Agricultural Drainage, ASA-CSSA-SSSA, Madison.
- MALÁN, J.M.; (1983): Estudio hidrogeológico para abastecimiento de agua potable a la localidad de Gral. Pico, departamento Maracó, provincia de La Pampa.
- MANN, J. y LIU, Y.A.; (1999): Industrial Water reuse and wastewater minimization. Ed. McGraw Hill. New York. Estados Unidos.
- MARIÑO, E.; (2003): Sistema Hidrogeoquímico de un Acuífero Libre en Ambiente Medanoso en el Área de General Pico-Dorila. La Pampa. Argentina.
- MECCA, J.; (2008): Análisis y Modelación del Comportamiento Hidrológico de las Lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani. Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- MONCHANIN, G. y PENA, N.; (2008): Tratamiento de Efluentes. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería.
- MONTEITH, J.; (1965): Climate and the efficiency of crop production in britain.
- MUJERIEGO, R; (2006). Reutilización Planificada del Agua para Regadío. Aspectos Conceptuales, Técnicos, Reglamentarios y de Gestión. Catedrático de Ingeniería Ambiental ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Universidad Politécnica de Cataluña. Jordi Girona, 1-3, Edificio D-1; 08034 Barcelona.
- MUJERIEGO, R., SALA, L., SALA, J. Y MARTÍNEZ, S. (1996): Gestión del Agua Residual Regenerada Utilizada para Regar el Campo de Golf Mas Nou. Séptima Memoria Anual. Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña.
- MUJERIEGO, R.; (1990): Riego con agua residual municipal tratada. Manual Práctico, Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- MUÑOZ, M. A., BUITRÓN, E. B., de ORMAECHEA, J. A. (2008): Eficiencia en los Sistemas de Tratamiento de Líquidos Cloacales en la provincia de La Pampa.
- ORSOLINI, H.E; ZIMMERMANN, E.D. y BASILE, P.A.; (2.000): Hidrología. Procesos y Métodos. Rosario. Santa Fe. Argentina.
- OSTER, J.D. y GRATTAN S.R.. (2002): Drainage Water Reuse. Irrigation and Drainage Systems.
- PALACIOS VÉLEZ, ENRIQUE; (1994): ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México.
- PEDREROA, F; KALAVROUZIOS, I; ALARCÓNA, J; KOUKOULAKIS, P; ASANO, T; (2010): Use of Treated Municipal Wastewater in Irrigated Agriculture - Review of Some Practices in Spain and Greece. The Changing Physical and Social

Environment: Hydrologic Impacts and Feedbacks. Hydrology Conference 2010. San Diego. California. Estados Unidos.

- PEPE, U; (2.008): Diagnóstico de una contaminación evitable. Sistemas de tratamiento de efluentes domésticos en el lugar y la contaminación de las napas de agua. 16º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. Argentina.
- PETTYGROVE, S.G.; DAVENPORT, D.C.; ASANO, T; (1983): Los Recursos de Agua Residual Municipal Regenerada en California. E.E.U.U.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). OFICINA REGIONAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE; (2003): XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá. Panamá.
- QADIR, M., WICHELNS, D., RASCHID-SALLY, L., MINHAS, P.S., DRECHSEL, P., BAHRI, A. and Mc CORNICK, P; (2007): Agricultural use of marginal-quality water - opportunities and challenges.
- RHOADES, J.D; (1999): Use of Saline Drainage Water for Irrigation. Agricultural Drainage. Madison, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- RODRÍGUEZ MUSSO; (2000): Riego Complementario en Cultivos Agrícolas Intensivos y Forestales con Aguas Servidas Tratadas. General Pico. La Pampa.
- SALA, L. y MILLET, X.; (1995): Aspectos básicos de la reutilización de las aguas residuales regeneradas para el riego de campos de golf. Jornadas Técnicas de la Federación Española de Golf. Madrid. Publicado por el Consorcio de la Costa Brava, Girona, en 1997.
- THORNTHWAITTE, C.; (1948): Balance Hidrológico Climático.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency); (2004): Guidelines for Water Reuse; Municipal Support Division Office of Wastewater Management Office of Water Washington, DC; Technology Transfer and Support Division National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development Cincinnati, OH; U.S. Agency for International Development, Washington.
- VÉLEZ ZULUAGA, J; (2007): Los Biosólidos: ¿Una solución ó un problema? Universidad Nacional de Medellín. Colombia.
- WHO (World Health Organization); (1973): Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. Technical Report Series 517. Geneva.
- WHO (World Health Organization); (1989): Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva.
- WHO (World Health Organization); (2006): Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water. Volume 2. Wastewater Use in Agriculture. Geneva.

Ing. Agr. Enrique Mario Fiorucci