

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**FORMULACIÓN Y DISEÑO DEL PROYECTO DE  
SANEAMIENTO UNIPAMPA - ZONA 1  
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN  
SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**RICARDO CHANG LUNG**

**Lima- Perú**

2007

## INDICE DEL INFORME

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>Cáp. 1: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Ubicación</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Población y dotación</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Clima</b>	<b>9</b>
1.3.1 Temperatura	10
1.3.2 Evaporación	10
1.3.2 Precipitación	10
1.3.4 Viento	11
<b>1.4 El suelo</b>	<b>13</b>
1.4.1 Formación	13
1.4.2 Clasificación Edafológica	13
<b>1.5 Principales cultivos</b>	<b>14</b>
<b>1.6 Sistemas de riego en el valle</b>	<b>17</b>
<b>1.7 Descripción del proyecto UNIPAMPA</b>	<b>18</b>
1.7.1 Selección del cultivo	18
<b>Cáp. 2: REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Normatividad Vigente para la reutilización de agua residual en la agricultura</b>	<b>21</b>
2.1.1 Clasificación del uso del agua	21
2.1.2 Tipos y valores límites para la calidad del agua	22
2.1.3 Uso de las aguas servidas con fines de irrigación	23
<b>2.2 Características del agua para su uso en el riego de cultivos</b>	<b>25</b>
2.2.1 Contenido de elementos potencialmente fitotóxicos	26
2.2.2 Problemas específicos de la calidad de las aguas residuales	29
2.2.3 Contaminantes que afectan al sistema de riego tecnificado	30
<b>2.3 Ventajas y desventajas</b>	<b>32</b>
2.3.1 Principales ventajas	32
2.3.2 Principales desventajas	32

---

<b>Cáp. 3: SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Descripción del sistema de riego tecnificado y sus componentes</b>	<b>35</b>
3.1.1 Cabezal de riego	37
3.1.2 Red de conducción y distribución	39
3.2.3 Emisores	41
<b>3.2 Principios del diseño Agrológico e Hidráulico</b>	<b>45</b>
3.2.1 Diseño agronómico	45
3.2.2 Diseño hidráulico	50
<b>3.4 Ventajas y desventajas</b>	<b>55</b>
3.3.1 Ventajas del riego tecnificado localizado	55
3.3.2 Problemas potenciales del riego tecnificado localizado	58
<b>Cáp. 4: INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Procesos de la instalación de un equipo de riego</b>	<b>60</b>
4.1.1 Costo de la instalación	62
<b>4.2 Procesos de operación y mantenimiento</b>	<b>64</b>
4.2.1 Operación	64
4.2.2 Mantenimiento	64
4.2.3 Evaluación del mantenimiento	65
4.2.4 Costo de operación y mantenimiento	66
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO 1</b> Diseño de los componentes del sistema de riego	A-1
1. Cálculo agronómico	A-2
2. Cálculo hidráulico	A-3
3. Dimensionamiento de la red de riego	A-3
4. Reservorio de riego	A-5
5. Cabezal de riego	A-6
<b>ANEXO 2</b> Análisis económico	A-8
<b>ANEXO 3</b> Planos	A-12

## RESUMEN

UNIPAMPA es un área de 1 km<sup>2</sup> completamente eriaza y descampada que no cuenta con ningún tipo de habilitación urbana. La actividad de la población que proyectaremos en esta área generará residuos sólidos y líquidos que serán colectados mediante una red de alcantarillado. Es por eso que se desarrolla un sistema de evacuación de aguas servidas del pueblo de UNIPAMPA, que consiste en una red de alcantarillado con la tecnología condominial, reduciendo así el costo de inversión del proyecto, de las tarifas de conexión a la red y de las tarifas por el servicio de evacuación de las aguas residuales, haciéndolo accesible al usuario final.

Las aguas residuales si no son tratadas adecuadamente produce la contaminación de las aguas naturales, así el tratamiento de aguas residuales se hace indispensable. En este caso la selección del sistema para la recolección y tratamiento respectivo deberá considerar, alternativas que incluyan el reuso del agua debido a que gran parte de la población en la zona de estudio esta dedicada a labores agrícolas.

Para ello se desarrolló el siguiente plan de trabajo: describir las principales características que presentan las aguas residuales domésticas, conocer las tecnologías mas comunes para el tratamiento de aguas residuales domesticas y sus procesos en función de los contaminantes presentes, analizar los métodos mas económicos para el tratamiento de aguas residuales en América latina y decidir cual de ellos es el mas adecuado para la población de **UNIPAMPA**, finalmente, definir el dimensionamiento de la planta de tratamiento con el fin de obtener el costo de construcción y de operación.

La reutilización de las aguas tratadas y residuos, la cual está comprendida en un marco de conservación ambiental, busca aprovechar recursos potenciales. Uno de estos recursos es el lodo que se genera en la planta. Entonces como primera medida de reutilización es aprovechar los residuos y sólidos que resultan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales proyectada en **UNIPAMPA**, para el cual se debe tener conocimiento de las características físicas - químicas y microbiológicas de los lodos, con el propósito de reutilizarlas en la agricultura.

El principal parámetro que determina su reuso son los análisis de huevos de helmintos. Es por ello que se llega a un conocimiento de los diversos procesos de tratamiento de lodo, el cual es por mucho el constituyente de mayor volumen eliminado en la planta de tratamiento. Luego de un proceso de evaluación para la zona en estudio, se ejecuta un plan de trabajo para su disposición final.

Otro recurso potencial es el agua tratada, además de poder ser vertida al mar, es que sea apta para el riego, empleando así sistemas de riego tecnificado que mejoran la eficiencia de la aplicación del agua y maximizan el área cultivable para un caudal tan reducido como es el de UNIPAMPA.

Es así que el agua que dispone la planta de tratamiento deberá cumplir con los requerimientos de calidad medioambiental que figuran en el reglamento general de aguas que norma el uso de aguas residuales para riego. Este reglamento busca evitar la contaminación de los cultivos, suelos, y acuíferos por su posterior efecto en la salud humana y el ambiente.

Mediante el cálculo agronómico y teniendo en cuenta los factores de clima desértico, mínimas precipitaciones, grandes evaporaciones potenciales y las características del suelo, se hizo un cálculo para determinar el caudal en (l/s/ha) de un cultivo importante en la zona, este valor permitirá relacionar la cantidad de hectáreas factibles de ser regadas en función de la cantidad de gente que vierte sus aguas residuales a la planta de tratamiento.

El cálculo hidráulico de redes abiertas sumado al cálculo agronómico permite diseñar el sistema de riego que se adapte a las distintas necesidades del cultivo y a las características del terreno. Las ventajas y desventajas de su aplicación, los elementos de diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de riego tecnificado aptos para esta agua, son también materia de estudio.

Finalmente el estudio de impacto ambiental busca reducir las afectaciones producidas en el medio ambiente, de los actuales sistemas de tratamiento y disposición final de los efluentes. Para luego realizar el diagnóstico ambiental del ámbito del área de influencia del proyecto.

## INTRODUCCIÓN

### PROBLEMÁTICA

El principal problema que se busca afrontar es la disposición y uso indiscriminado de las aguas residuales. En el Perú, se alcanzó el nivel de cobertura en agua potable de 58,4% y en alcantarillado de 47,0%, generándose así alrededor de 30 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales domésticas y de las cuales se tratan 4,3 m<sup>3</sup>/s que representa al 14%, resultando que el 86% es descargado sin ningún tratamiento a los ríos, lagos, mar o quebradas.

El uso de aguas residuales para el riego de cultivos de consumo humano sin tratamiento previo, así como la gran cantidad de aguas superficiales de ríos y canales que contienen más de mil coliformes fecales por cada 100 ml de agua (valor recomendado por la OMS para el riego de vegetales de consumo crudo), incrementa los factores de riesgo para la salud de la población. Las situaciones endémicas de diarreas, parasitismo, fiebre tifoidea y salmonelosis que imperan en nuestro país no son más que el reflejo de esta crítica situación, a la que vino a sumarse el cólera.

### INTERÉS DEL TEMA

La reutilización de aguas residuales tratadas tiene muchas ventajas, como: la disposición de los residuos líquidos de las poblaciones, el aumento del aprovechamiento del agua, el aumento de áreas cultivables, la disminución de contaminación ambiental por vertidos sin tratamiento, la disminución de la cantidad de fertilizantes que deben agregarse a los cultivos, entre otras.

Sin embargo, el grado de aprovechamiento del agua no está dado sólo por su reutilización en la agricultura, sino en la eficiencia de su aplicación. Para este fin se ha previsto analizar la reutilización del agua residual tratada haciendo uso de los sistemas de riego tecnificado que ayuden a mejorar el rendimiento de la aplicación del agua en respuesta a la baja eficiencia de los sistemas de riego superficiales por gravedad.

## **OBJETIVOS DE ESTUDIO**

Nuestro objetivo general consiste en dotar a la población proyectada de UNIPAMPA de un sistema para la colección, tratamiento y reutilización de los residuos domésticos dentro de un marco de conservación ambiental, con el *fin* de aprovechar estos recursos potenciales. Simultáneamente se buscará ampliar el horizonte agrícola del Valle Cañete mediante la apertura de nuevas áreas cultivables regadas con las aguas residuales y fertilizadas con lodos provenientes de la planta de tratamiento, evitando con su reutilización los costos del vertido al mar o al río Cañete.

En el presente informe se busca:

- Definir los requerimientos básicos de las aguas residuales tratadas del poblado de UNIPAMPA, para que estas sean aptas para el riego de cultivos agrícolas viables en la zona, que se sumarían a la producción del Valle de Cañete, y para su uso en el sistema de riego tecnificado que maximicen el aprovechamiento de la cantidad limitada del agua.
- Determinar la viabilidad económica de la implementación del sistema de riego tecnificado, teniendo en cuenta los gastos de operación y mantenimiento comparados con los aumentos en la productividad de los cultivos y ganancia de tierras.
- Dar lugar a la difusión del uso de sistemas de riego tecnificado que hagan posible el incremento de las áreas agrícolas reutilizando un recurso tan escaso como lo es el agua.

## **METODOLOGÍA**

Según las características del clima, tipo de suelo y del agua residual tratada, se seleccionará un cultivo de importancia para la zona, que se adapte a estas condiciones y que aporte el mayor beneficio económico en la implementación del área de cultivo y del sistema de riego a emplear. Para tal efecto se emplearán los elementos de diseño agrológicos e hidráulicos que permitan dimensionar el sistema.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS CAPITULOS**

El presente informe cuenta con 4 capítulos:

Capítulo 1: Aspectos generales: Servirá para conocer el entorno que rodea al proyecto para poder generar soluciones que se adapten a sus características particulares, como son su: ubicación, clima, suelo, principales cultivos. Se incluye también la descripción del proyecto a realizar en la zona de estudio

### **UNIPAMPA**

Capítulo 2: Reutilización de aguas tratadas: Su fin es delimitar las características que debe tener el agua para su reutilización tanto para la agricultura, como para los sistemas de riego tecnificado. Se describirá los efectos positivos y negativos de los contaminantes en las plantas, personas, suelo y el sistema de riego.

Capítulo 3: Sistemas de riego tecnificado: En este capítulo se detallará los elementos que conforman los sistemas de riego tecnificado, así como los lineamientos agronómicos e hidráulicos para su diseño. Se mencionará las ventajas y desventajas que justifiquen su aplicación.

Capítulo 4: Instalación, operación y mantenimiento: Se busca que el sistema no solo se implemente, si no que pueda ejecutarse en el tiempo. Para esto se debe tener en cuenta las actividades propias de cada etapa y los costos que representan.



# Capítulo

# 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 UBICACIÓN

A 144 km. al sur de Lima, por la carretera Panamericana, se encuentra la ciudad de San Vicente de Cañete, capital de la provincia limeña de Cañete. UNIPAMPA Zona 1, nuestra zona de estudio, se haya ubicada dentro de 1 Km<sup>2</sup> perteneciente a San Vicente, a la altura del Km. 158 de la Panamericana y delimitada por las coordenadas UTM (Zona 18, Geoide WGS84):

Cuadro 1-2: Coordenadas de UNIPAMPA

Este	Norte
353642	8541320
353_Q?_Q	8542139
353890	8542712
354462	8541892



Figura: 1-1. Vista de San Vicente de Cañete y UNIPAMPA

## 1.2 POBLACIÓN Y DOTACIÓN

UNIPAMPA estará habitada por una población urbana inicial de 1968 habitantes, con una tasa de crecimiento poblacional de 2.6%, y una dotación de agua potable de 220 litros/hab/día. El caudal de retomo para las aguas residuales es 80% de la dotación de agua potable, resultando en un caudal promedio de aguas residuales de 4 litros/seg.

## 1.3 CLIMA

Según la clasificación climática de Koppen, el área de UNIPAMPA se localiza en un clima subtropical de desierto (BWh), con muy escasa precipitación (por debajo del límite de sequía), temperatura cálida (promedio anual sobre los 18° C), con una época de verano y ligeras lloviznas en invierno.

El paisaje fértil de la ciudad de Cañete, corresponde al valle formado por el río Cañete. Hacia la zona sur de UNIPAMPA el paisaje es típico del clima desértico. Bajo estas condiciones climáticas la vegetación natural es muy escasa o nula. Para la caracterización del tipo climático, se uso información meteorológica de las siguientes estaciones, que figuran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1-3 Características y ubicación de las estaciones meteorológicas

Estaciones Meteorológicas	Tipo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Distancia Aprox.
Cañete	<b>MAP</b>	76° 21'	13° 04'	150	13
Calango	<b>CO</b>	76° 33'	12° 32'	205	57

MAP: Meteorológica Agrícola Principal

CO: Climatología Principal

Obteniéndose datos de la variaciones de la temperatura, precipitación, humedad relativa y evaporación. El cuadro 1-4 muestra los respectivos datos meteorológicos para la Estación Cañete, la más representativa de la zona, que serán de vital importancia para el cálculo agronómico que veremos en el capítulo 3. En la figura 1-3 se observan la semejanza entre el comportamiento de la temperatura y la evaporación que se da en los diferentes meses del año en la estación de Cañete.

### 1.3.1 Temperatura:

UNIPAMPA es una zona soleada y cálida durante el verano, de diciembre a marzo y templadas a sensiblemente frías durante los meses de invierno, representativa del desierto litoral. La temperatura media anual del valle de Cañete es de 21.0 °C, presentando una variabilidad en sus valores de 13.3°C a 29.9°C. Las temperaturas extremas varían cuando se presentan fenómenos extraordinarios como El Niño, el cual aumenta sensiblemente la temperatura, pero no modifica la condición desértica del lugar.

### 1.3.2 Evaporación:

Se mide usando el método de tanque o bandeja que acontece desde un tanque evaporimétrico de superficie libre de determinadas dimensiones. La evaporación de bandeja, integra apropiadamente las variables climáticas de temperatura, radiación solar, humedad relativa y las características del viento del sector, que son los elementos de los cuales depende en mayor grado la evapotranspiración de los cultivos.



Figura 1-2. Bandeja de evaporación Tipo "A"

### 1.3.3 Precipitación:

Una característica importante del tipo climático del área de estudio, es la no presencia (por períodos de muchos años) de lluvias verdaderas, pues prácticamente la totalidad de las reducidas precipitaciones que ocurren son horizontales, producto de la elevada humedad atmosférica del aire que domina

buena parte del año, especialmente de mayo a noviembre, y más específicamente durante los meses de invierno, de julio a septiembre.

En esta época la precipitación real consiste en microgotas conocidas como "garúa", que humedecen constantemente el suelo. Las humedades atmosféricas relativas permanecen por encima del 90%, y varias horas en el punto de saturación aérea. La figura 1-4 muestra el comportamiento de la precipitación en la estación Cañete

**Comportamiento de la Precipitación  
Estación Cañete**

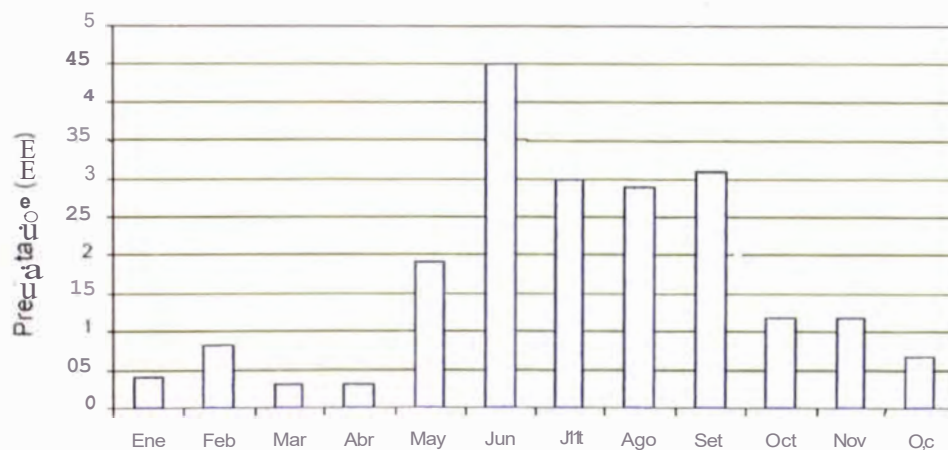


Figura 1-4. Comportamiento pluviométrico de la estación Cañete

### 1.3.4 Viento

En general, el régimen de vientos en el litoral costero es bastante regular; la velocidad durante el año es débil salvo raras excepciones que provocan vientos de mediana a fuerte intensidad. Las direcciones predominantes en estas estaciones son: sur, sur este y oeste, promedio es de 2 y 5 m/s, en tanto que la máxima velocidad puede alcanzar valores hasta de 17 mis.

Cuadro 1-4 Datos Meteorológicos de la Estación Meteorológica de Cañete (Periodo de registro 1937-1999)

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura Media (°C)	23,8	24,6	24,5	22,8	20,5	17,8	17,0	16,90	17,20	18,6	20,0	22,0	20,48
Temperatura Máxima Media (°C)	28,3	29,3	29,3	27,8	24,3	20,9	19,8	19,90	20,2	22,2	23,9	26,3	24,35
Temperatura Mfnima Media (°C)	19,3	19,9	19,7	17,8	15,8	14,7	14,2	13,90	14,0	15,1	16,1	17,7	16,54
Precipitación (mm)	0,4	0,8	0,3	0,3	1,9	4,5	3,0	2,90	3,10	1,20	1,20	0,7	20,30
Humedad Relativa Media(%)	81,6	80,4	80,2	79,8	83,2	84,2	83,7	84,5	83,3	82,7	81,0	80,2	82,07
Evaporación (mm)	137,6	133,8	141,7	128,8	90,3	54,4	53,7	59,8	73,4	96,8	109,4	132,1	1211,8

Fuente: SENAMHI, 2000 Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional, Ministerio de Energía y Minas.

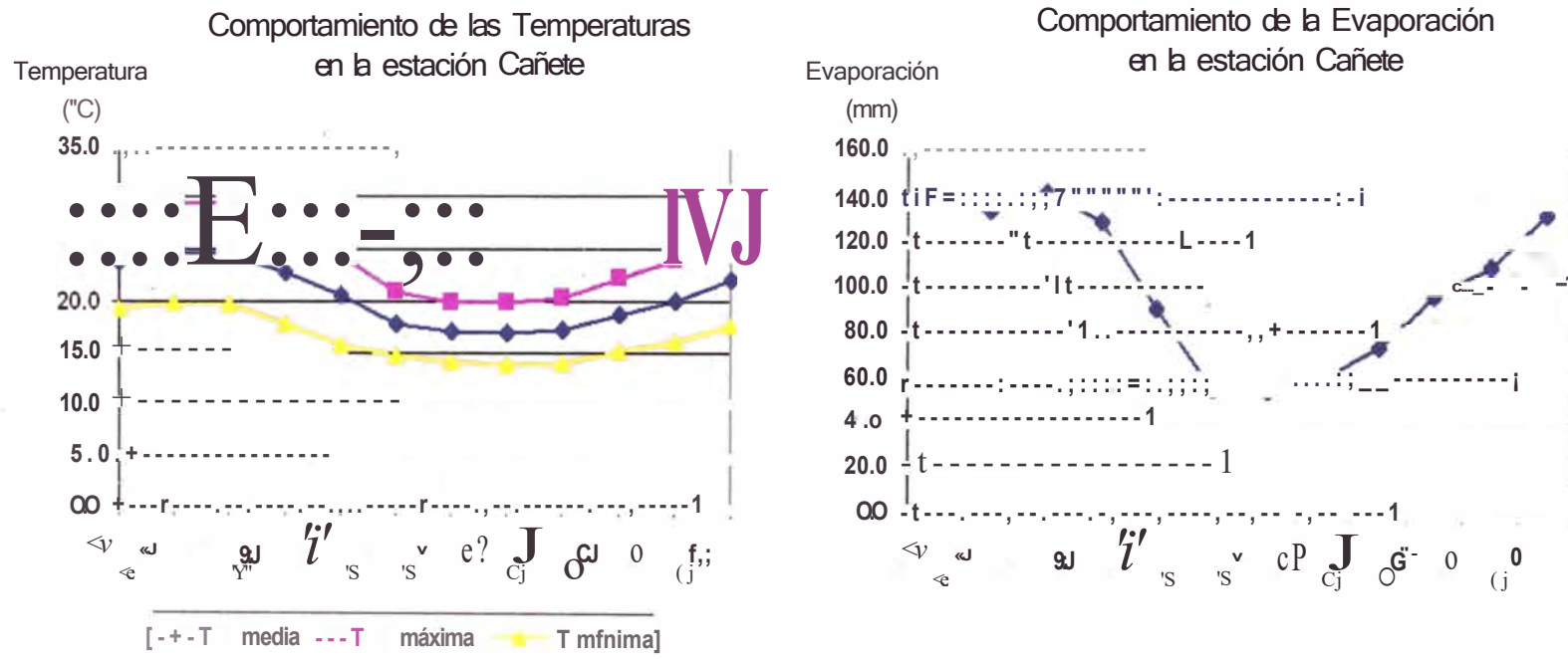


Figura 1-3. Comparación del comportamiento de las Temperaturas medias y la Evaporación en la estación Cañete

## 1.4 EL SUELO

### 1.4.1 Formación

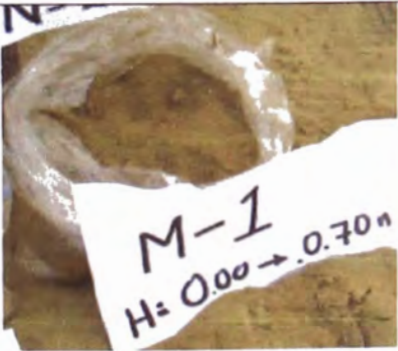
Esta formación consiste en un conglomerado grueso, con clastos redondeados y sub-redondeados de litología muy heterogénea, en matriz areno-limosa y con algunos sedimentos areno limosos. La Formación es de origen continental, producto de depósitos aluviales y proluviales antiguos.

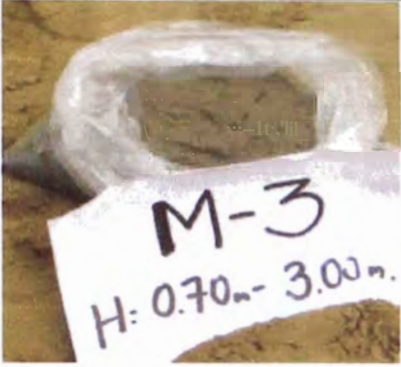

En los acantilados situados en el borde litoral existe una alternancia de conglomerados y sedimentos arenosos y limosos; capas de arena fina a gruesa, lentes arcillo limosos y limo arcillosos color marrón claro y marrón amarillento; también se puede encontrar arena fina en horizontes y lentes con alguna estratificación cruzada.

### 1.4.2 Clasificación Edafología

**Consociación Arenal:** Distribuidos en depósitos eólicos, terrazas aluviales medias y laderas de montaña, con arena de probable deposición eólica. Relieve topográfico plano a moderadamente empinada (0-25%). Es un suelo moderadamente alcalino, con un horizonte de 70 cm, de espesor, de textura arena franca, que descansa sobre un horizonte profundo, arenoso, hasta más de 3.0 m, de profundidad. Tienen drenaje excesivo y altos requerimientos hídricos, mediana productividad y están libres de problemas de salinidad y alcalinidad. Un perfil representativo de la Consociación se describe a continuación:

Cuadro 1-5. Estratificación del suelo

	<p><b>Estrato M-1: 0.00 - 0.70</b></p> <p>Pardo a pardo oscuro en húmedo. Arena franca, grano simple, muy friable. El pH es 8,1 y 0,7% el contenido de materia orgánica. Carbonatos libres en la masa con reacción muy ligera al hcl diluido. CE: 1,16 ds/m a 25°c, y PSI: 5,2% porcentaje de sodio intercambiable.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p><b>Estrato M-3: 0.70 - 3.00</b></p> <p>Pardo amarillento oscuro en húmedo. Arenoso, grano simple, suelto. El ph es 8,0 y 0,3% el contenido de materia orgánica. CE: 0,34 ds/m a 25° c, y PSI: 3,4%.</p>
	<p>El suelo proviene de tierras eriazas y se caracteriza por presentar formaciones calichosas sometidas a erosión eólica en la superficie. Así mismo, por sectores su contenido de sales es muy alto pero susceptible de ser lavado sin necesidad de tener que llevar a cabo obras de drenaje.</p>

Fuente: Estudio Pluspetrol

## 1.5 PRINCIPALES CULTIVOS

Los terrenos de cultivo enmarcados en el área irrigada del valle de Cañete, forman un mosaico de comunidades vegetales cultivadas. Esta dispersión en los cultivos se debe a la fragmentación de las terrazas aluviales y pampas eriazas aprovechables para agricultura próxima a los cursos de los ríos, a la instalación de canales de riego que contribuyen al crecimiento de vegetación cultivada a partir de las pérdidas por infiltración. A continuación la relación de los diversos tipos de cultivos en la zona:

### **Cultivos Diversos (productos alimenticios y otros cultivos Extensivos)**

Entre los cultivos extensivos tenemos maíz, papa, alfalfa, yuca, ají, apio, camote y algodón.

### **Cultivos Extensivos (predominancia de algodón).**

El cultivo de algodón. Es un cultivo extensivo que alcanza mayor hectareaje de superficie cultivada en la costa central. La actividad agrícola de estas áreas, en los últimos años, ha presentado una reducción en su producción, debido a factores como: la disminución del tamaño de parcela, parcelación en minifundios,

disminución de superficie cultivada por venta de área agrícola, limitación en el nivel tecnológico y poca asistencia técnica y crediticia entre otros.

### **Cultivos Permanentes (predominancia de Frutales)**

Los cultivos permanente con predominancia de frutales, se presenta en casi todos los valles de la Costa Peruana. Es una actividad que caracteriza amplios sectores de la costa central como una fuente de ingreso permanente para su economía. Las áreas con mayor tecnología se encuentran en los valles de Cañete y Pisco con cultivos como la vid, manzano, durazno, chirimoyo y membrillo. Entre otros cultivos perennes (frutales) que se cultivan, se puede citar: paca, chirimoya, tuna, lúcumo, manzana y membrillo.

### **Cultivos Hortalizas (De hoja, cebolla, zapallo y menestras)**

Las hortalizas diversas se cultivan en pequeñas extensiones, asociados con otros cultivos. Entre los cultivos de hortalizas tenemos la beterraga, zanahoria, lechuga, espinaca, rabanito, cebolla, col, berenjena, nabo, alcachofa, apio, poro y ají panca.

### **Cultivos Colonizadores (Alfalfa, menestras, Tuna)**

Las áreas con cultivos colonizadores comprenden áreas con deficiente riego, arenosos y/o pedregosos, recién incorporados a la agricultura o influenciados por las arenas eólicas que se presentan invadiendo el litoral costero. Comprende cultivos formadores de suelo como las leguminosas frejol, pallar, alfalfa y especies que resisten la falta de agua como la tuna. En épocas de mayor abundancia de agua en la cuenca y el riego es más sostenido, se siembran cultivos como maíz, espárrago, ají panca y otros extensivos como algodón.

De esta amplia gama de productos agrícolas se destaca la producción de camote, maíz amarillo y mandarina que equivalen aproximadamente al 50% del volumen y cerca del 45% del monto total de producción. Cabe destacar que el algodón y el espárrago siendo sólo el 0.03% del total de la producción sin embargo producen al alrededor del 13% del monto total (ver tabla a continuación). Este valle, uno de los más ricos de nuestra costa, alcanza montos de producción agrícola alrededor de los 50 millones de soles en los últimos 3 años.



Cuadro 1-6. Volúmenes (TM) y montos de producción (S/.) de productos agrícolas para el distrito de San Vicente de Cañete, Provincia de Cañete, departamento de Lima.

PRODUCTO	1999		2000		2001	
	P (TM)	M (S/.)	P (TM)	M (S/.)	P (TM)	M (S/.)
Ají	137	67,587	831	457,050	314	239,818
Ajo	795	1,702,625	1,486	1,931,800	2,664	2,835,680
Alfalfa	159	32,595	239	47,583	278	58,612
Algodón	2,006	4,719,115	1,530	3,034,500	2,646	6,597,360
Arveja Grano Verde	291	302,640	181	166,520	188	152,280
Camote	37,195	10,507,588	36,988	8,969,590	22,893	5,856,793
Cebolla	1,890	651,000	1,560	581,657	1,885	599,430
Coliflor					179	145,438
Espárrago	692	2,356,952	533	1,273,870	485	1,299,083
Fresa Y Frutilla	787	818,480	1,883	1,841,156	1,248	1,666,773
Frijol Grano Verde	113	63,280	134	81,070	101	112,994
Frijol Vainita			30	18,000	175	124,500
Lúcuma	41	53,300	34	46,070	56	70,933
Maíz Amarillo Duro	15,479	8,474,753	17,240	8,950,433	12,832	6,854,427
Maíz Chala	750	52,500	1,932	270,480	3,510	245,700
Maíz Choclo	459	187,272	48	12,480		
Maíz Morado	224	66,080	17	13,600	527	379,440
Mandarina	8,977	5,498,413	8,215	6,196,457	7,596	5,805,514
Manzano	5,982	3,788,600	3,945	2,958,750	2,992	1,969,733
Melocotonero	390	364,000	96	100,800	8	4,800
Naranja	300	240,000	235	142,567	15	15,000
Otras Hortalizas	1,883	939,931	1,595	823,600	1,113	614,005
Palto			247	333,450	406	778,167
Papa	5,687	1,549,708	5,850	2,156,143	6,277	2,594,493
Peral	181	167,425	91	70,980		
Tomate	877	696,119	486	385,329	393	262,749
Vid	11,390	11,162,200	7,710	6,939,000	15,170	12,894,500
Yuca	8,153	2,475,547	5,130	1,361,782	3,760	1,422,533
Zapallo	1,431	513,570	2,082	786,533	2,159	645,001
Otros Cultivos		11,000		19,325		167,181
<b>Total</b>	<b>106,312</b>	<b>57,467,318</b>	<b>100,445</b>	<b>49,978,574</b>	<b>92,338</b>	<b>54,212,051</b>

Fuente: Ministerio de Agricultura.

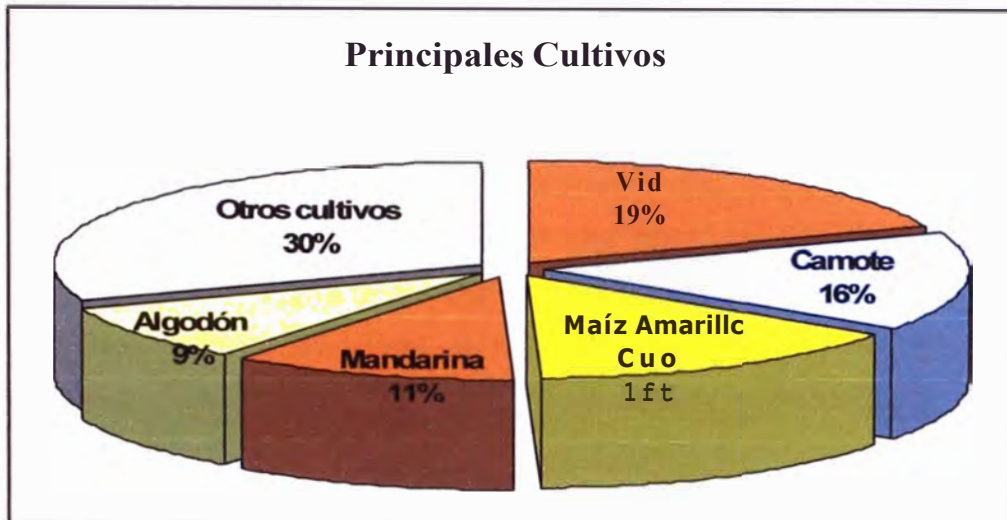


Figura 1-4. Distribución de los principales cultivos de Cañete

## 1.6 SISTEMA DE RIEGO EN EL VALLE

Los métodos de distribución y reparto de agua de riego en el Valle del río Cañete no son de los más eficientes. La distribución se realiza mediante canales principales, secundarios y terciarios no revestidos, hasta llegar a las parcelas individuales; en todos los casos la eficiencia de distribución es muy baja. Por otro lado, dentro del campo, el método comúnmente empleado de aplicación es por gravedad simple, con lo cual la eficiencia del uso de agua empeora. Además, existe la tendencia de aplicar más agua que la que necesita el cultivo.

Desafortunadamente, el método de riego por gravedad es el más práctico y económico que existe en Cañete. El empleo de sistemas de riego tecnificado no es todavía factible, debido a factores negativos de seguridad (robos) y costo. La misma oferta constante de agua a lo largo del año hace que el productor no se sienta presionado a emplear uno de estos sistemas de riego.



Figura 1-5. Sistema de riego por gravedad en el Valle de Cañete

## 1.7 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO UNIPAMPA

El proyecto UNIPAMPA es un proyecto de reutilización de los efluentes tratados del poblado urbano que consta de 14 manzanas que alojarán a una población inicial de 1980 personas. Se destinará un área apropiada para el riego, buscando obtener la máxima eficiencia en el uso del suelo y del agua empleando para esto un sistema de riego tecnificado que incluya un reservorio de almacenamiento, cabezal de riego, red de conducción y distribución, y un cerco perimétrico adecuado.

El proyecto buscará ser una alternativa económicamente viable, su análisis incluirá los costos de implementación del sistema de riego tecnificado, gastos de operación y mantenimiento, producción del cultivo y gastos de financiamiento.

### 1.7.1 Selección del cultivo

Se ha visto por conveniente seleccionar al cultivo del algodón Tangüis para determinar las potencialidades de la reutilización del agua, por ser un cultivo industrial (que no se ingiere) y de importancia económica para la zona, ofrecerá un menor rechazo por parte de los consumidores, ideal para la introducción de la reutilización de las aguas residuales tratadas. Además ocupará relativamente poco espacio al ser un cultivo intensivo: 100,000 plantas por hectárea.

Los requerimientos del algodón encajan muy bien con las características de:

- La calidad del agua: muy tolerante a la salinidad, altos requerimientos de nitrógeno y fósforo.
- Tipo de suelo: franco arenoso que favorece a la aireación de las raíces, requiere humedad constante (riego de alta frecuencia).
- Clima: cálido, no se considerarán las precipitaciones dado que son prácticamente nulas.



Figura 1-5: Cultivo intensivo del algodón Tangüis

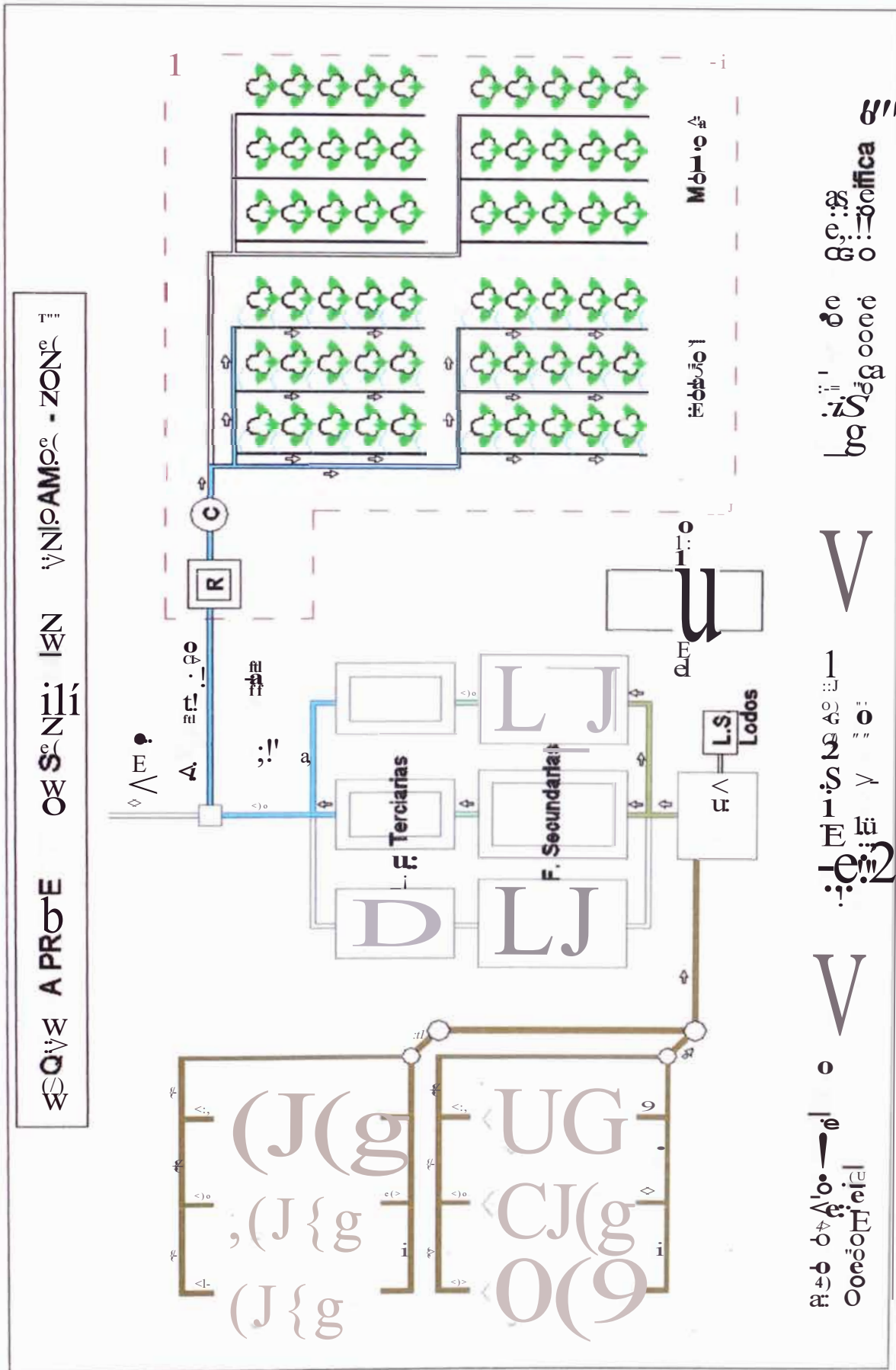


Figura 1-6. Esquema Proyecto de Saneamiento UNIPAMPA - Zona 1

# Capítulo

# 2

## REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

### Introducción

La reutilización del agua es, actualmente, un tema de gran importancia, tanto por el ahorro que supone como por su importancia en una adecuada gestión de la misma, evitando vertidos incontrolados y las consiguientes contaminaciones y problemas medio ambientales. Tiene especial interés en las zonas áridas, donde el déficit hídrico puede condicionar su desarrollo, pues permite conseguir el máximo aprovechamiento de las utilidades no consuntivas, especialmente aguas negras urbanas.

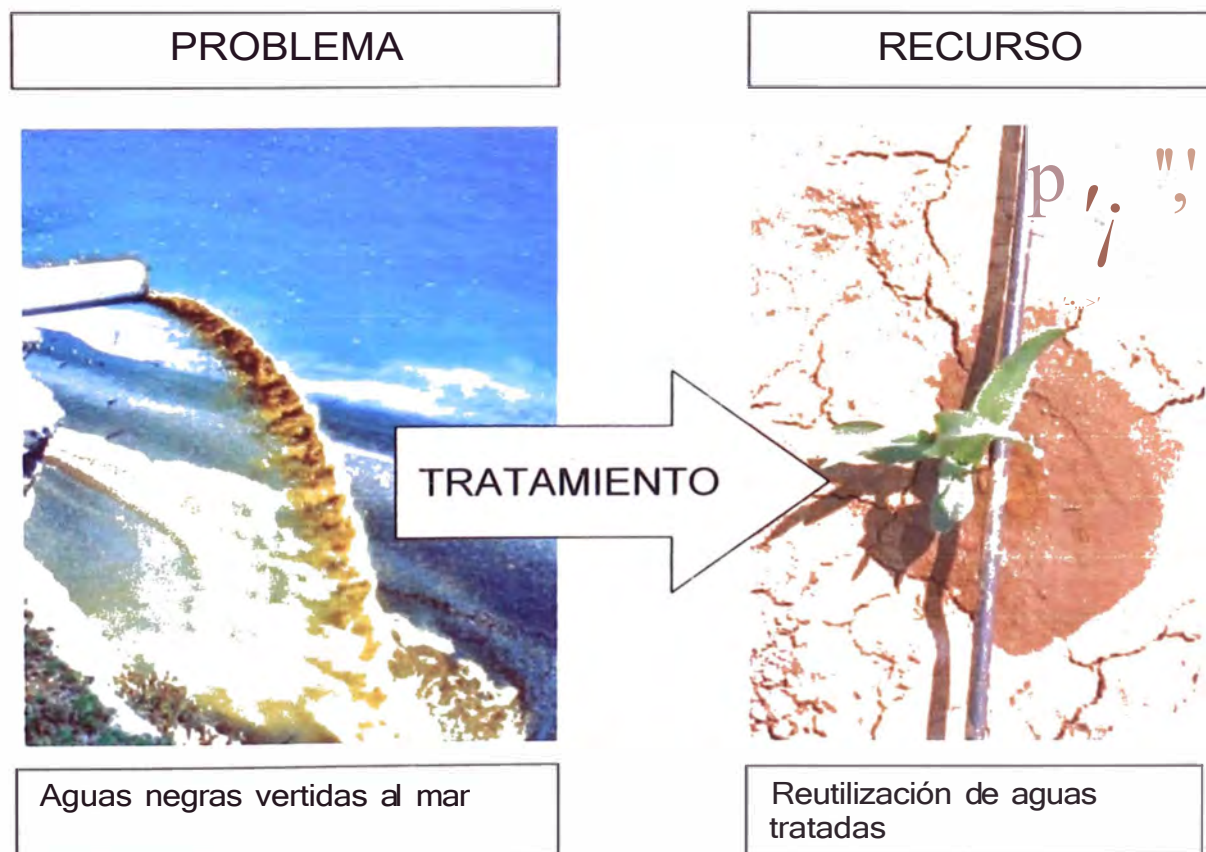


Figura 2-1. Motivación para la reutilización de las aguas residuales tratadas

El riego con aguas residuales aumenta regularmente por las razones siguientes:

- Necesidad de evacuar de una forma económica volúmenes crecientes de aguas residuales, principalmente de las zonas urbanas.
- Dicho riego es una fuente de agua y nutrientes para las plantas y su uso sobre suelo agrícola aporta una fácil y cómoda solución al problema medioambiental de la contaminación por aguas residuales.
- Necesidad de aumentar el abastecimiento de agua, debido a la elevación del nivel de vida, para consumos domésticos, industriales y agrícolas en zonas en continuo desarrollo.

## **2.1 NORMATIVIDAD VIGENTE PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA AGRICULTURA**

La calidad del agua, así como las disposiciones para su uso están contempladas en los Reglamentos de los Títulos 1, 11 y 111 del decreto ley N° 17752 "Ley General de Aguas"

### **2.1.1 Clasificación del uso del agua**

La calidad del agua resultante de la planta de tratamiento de aguas residuales está en función al tipo de uso posterior, con diferentes grados de exposición a la vida humana y al ambiente.

La calidad de los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificará respecto a sus usos de la siguiente manera:

- I. Aguas de Abastecimiento doméstico con simple desinfección
11. Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- 111. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales**
- IV. Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- V. Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos
- VI. Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

### 2.1.2 Tipos y valores límites para la calidad del agua

Con la finalidad de preservar los cuerpos de agua del país, acorde con la clasificación descrita en el artículo precedente, regirán los siguientes tipos y valores límites mostrados en el cuadro 2-1:

Cuadro 2-1. Límites de contaminantes según el uso del agua

PARÁMETROS	CLASIFICACIÓN DEL USO DEL AGUA					
	I	11	111	IV	V	VI

1.- LÍMITES BACTERIOLÓGICOS (VALORES EN N.P./100 MIL)*						
Coliformes Totales	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes fecales	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000

11.- LÍMITES DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.8.0) 50, 20°C Y DE OXÍGENO DISUELTUO (O.O) VALORES EN MG/L						
D.8.0.	5	5	15	10	10	10
O.O.	3	3	3	3	5	4

111.- LÍMITES DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE PELIGROSAS MG/M3						
Selenio	10	10	50		5	10
Mercurio	2	2	10		0.1	0.2
PCB	1	1	1+		2	2
Esteres Estalatos	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3
Cadmio	10	10	50		0.2	4
Cromo	50	50	1,000		50	50
Níquel	2	2	1+		2	**
Cobre	1,000	1,000	500		10	*
Plomo	50	50	100		10	30
Zinc	5,000	5,000	25,000		20	**
Cianuros (CN)	200	200	1+		5	5(*)
Fenoles	0.5	1	1+		1	100
Sulfuros	1	2	1+		2	2
Arsénico	100	100	200		10	50
Nitratos (N)	10	10	100		N.A	N.A

IV.- LÍMITES DE SUSTANCIAS O PARÁMETROS POTENCIALMENTE PERJUDICIALES (VALORES EN MG/L)				
M.E.H (1)	1.5	1.5	0.5	0.2
S.A.A.M (2)	0.5	0.5	1	0.5
C.A.E (3)	1.5	1.5	5	5
e.e.E. (4)	0.3	0.3	1	1

(\*) Entendidos como valor máximo en 80% de 5 ó más muestras mensuales

- 1+ Valores a ser determinados. En caso de sospechar su presencia se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.
- NA.** Valor no aplicable.
- (1) Material Extractable en Hexano (Grasa Principalmente)
  - (2) Sustancias activas de azul de Metileno (Detergente principalmente)
  - (3) Extracto de columna de carbón activo por alcohol (Según método de flujo lento)
  - (4) Extracto de columna de carbón activo de Cloroformo (Según método de Flujo lento)

Para los niveles de pesticidas se aplicará como límite, los criterios de calidad de aguas establecidas por el Environmental Protection Agency de los Estados unidos de Norteamérica. Respecto a la temperatura, el Ministerio de Salud determinará en cada caso, las máximas temperaturas para exposiciones cortas y de promedio semanal.

### **2.1.3 Uso de las aguas servidas con fines de irrigación**

Será lícita la utilización de aguas servidas para irrigación, sólo cuando se cuente específicamente con la autorización sanitaria respectiva, y en los casos y con las limitaciones que especifica el Reglamento General de Aguas.

#### **Licencia de uso y autorización sanitaria**

Cuando se solicitan licencias para uso de aguas de filtraciones, desagües o drenajes, para fines agrícolas, éstas serán otorgadas cuando su calidad, cantidad y la oportunidad de su uso permitan el éxito de una campaña agrícola.

Toda solicitud de licencia para el uso de aguas servidas con fines de irrigación, a ser presentado al Ministerio de Agricultura, deberá contar con la autorización correspondiente al Ministerio de Salud.

Los requerimientos para tramitar la Autorización Sanitaria son los siguientes:

- Estudios de ingeniería justificativos del proyecto;
- Planos de la zona a irrigar, y detalles del sistema de riego;
- Planos de los sistemas de captación de las aguas servidas, incluyeno desarenadores, eliminación de material grueso, bombeo, derivación de excesos y de toda otra estructura previa al sistema de riego o tratamiento según los casos;
- Planos del sistema de tratamiento
- Relación de las especies vegetales que se desean cultivar;
- Constancia de Pago



- Constancia de la entidad encargada del Sistema de Alcantarillado de que es factible entregar al interesado el uso de las aguas servidas, en el volumen solicitado.
- Título de propiedad del terreno.

La autorización correspondiente se pondrá en conocimiento del Ministerio de Agricultura y de la Zona de Salud u Área Hospitalaria de la respectiva jurisdicción.

### Cultivos aptos y tipos de tratamiento requerido

De la clasificación de las especies vegetales a ser regadas con aguas servidas y que sirven para el consumo humano y del ganado, se ha elaborado el siguiente cuadro donde se indica el tipo de tratamiento para las aguas residuales y las consideraciones adicionales respectivas, con el fin de evitar las potenciales enfermedades transmitidas por el agua de riego:

Cuadro 2-2. Cultivos Vs Tipo de Tratamiento para las aguas residuales

Cultivo	Tipo de tratamiento	Consideraciones adicionales
Vegetales de tallo corto y rastrero que se consumen crudos. Hortalizas y verdura de tallo corto: ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio, arveja, etc.	No podrán ser regados con o sin tratamiento	ninguna
Vegetales que se consumen cocidos.	Tratamiento primario o secundario	Bajo control y fiscalización de los mismos
Vegetales sometidos a procesos de industrialización que incluyan la esterilización como etapa final del proceso.	Tratamiento primario como mínimo	Tiempo transcurrido entre el último riego y la cosecha no sea inferior a 20 días.
Vegetales industriales como algodón, maíz, caña de azúcar y frutales no rastreros.	Aguas negras sin tratar	Aplicar riego superficial ó cuando el tiempo transcurrido entre el último riego y la cosecha no sea inferior a 20 días.
Vegetales como alfalfa, gramalote, chala, etc. que se utilizan para forraje de ganado	Tratamiento secundario	Absoluta prohibición de acceso a los campos al ganado lechero. El forraje deberá almacenarse por lo menos 20 días antes de ser consumido

Fuente: Ley general de aguas

## Manejo del riego con agua residual

Los requerimientos para el uso del agua residual con el objeto de evitar la difusión de enfermedades y contaminación de acuíferos son los siguientes:

- Los terrenos irrigados estarán convenientemente cercados y contarán con letreros que sean visibles, a distancia no menor de 20 mts. donde se expresará que son terrenos regados con aguas servidas, prohibiéndose el ingreso.
- Los terrenos irrigados con aguas servidas sin tratar, no podrán estar ubicados a menos de 500 mts. de las poblaciones aledañas.
- Cuando en la zona existan pozos, que a juicio de la Autoridad Sanitaria pudieran ser afectados, la autorización sanitaria quedará supeditada a que los estudios, investigaciones y análisis que se ejecuten, demuestren la factibilidad de la irrigación, sin perjuicio para los legítimos intereses de los usuarios y de la salud pública.
- El usuario o arrendatario según los casos, está obligado a adoptar las medidas necesarias, a fin de salvaguardar la salud del personal que elabora en las faenas agrícolas de los terrenos regados con aguas servidas.
- Los sistemas de riego con aguas servidas serán diseñados y construidos en tal forma, que no interfieran ni se conecten con canales que transporten aguas de regadío.

## 22 CARACTERISTICAS DEL AGUA PARA SU USO EN EL RIEGO DE CULTIVOS

En el acápite anterior se hace mención de los niveles de contaminantes permitidos por la normatividad vigente, en la presente sección veremos la influencia de los principales contaminantes y su interacción con el cultivo.

Para valorar la calidad de las aguas residuales para el riego localizado se emplean los mismos criterios que para las aguas superficiales o subterráneas, es decir, su contenido en sales y en elementos potencialmente fitotóxicos (sodio, cloruro y boro). Pero, además, hay que tener en cuenta el contenido en microorganismos patógenos y la concentración de metales pesados, nutrientes y

compuestos orgánicos, que no suelen presentar problemas en el riego con agua normal. El conocimiento de todos estos parámetros nos permitirá adecuar el tratamiento a que deben someterse las aguas residuales para reutilizarlas en riego, en función del tipo de cultivo a que se apliquen.

## 2.2.1 Contenido en elementos potencialmente fitotóxicos

### Salinidad

La salinidad se deriva de la presencia de iones Na, Ca, Mg, Cl, ó B. El uso doméstico del agua produce un incremento en su contenido de sales que suele estar entre 0.25-0.63 dS/m. Este aumento no se altera con la depuración y esto hace que las aguas residuales puedan presentar problemas de salinidad.

Una excesiva salinidad puede producir daños a los cultivos y provocar problemas de permeabilidad en el suelo (SAR).

Cuadro 2-3. Clasificación de las aguas de riego basada en su CE

Peligro de salinidad	Características	CE (dS/m)
(C1) Bajo	Bajo peligro de salinidad, no se espera efecto dañino sobre las plantas.	< 0.25
(C2) Medio	Plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales moderada lixiviación previene la acumulación de sales en el suelo.	0.25-0.75
(C3) Alto	Salinidad afectará a muchas plantas. Requiere: selección de plantas tolerantes a la salinidad, buen drenaje y lixiviación.	0.75-2.25
(C4) Muy alto	Generalmente no aceptable, excepto para plantas muy tolerantes a las sales, se requiere excelente drenaje y lixiviación.	> 2.25

Unidades de Conductividad eléctrica: 1 dS/m = 1 deciSiemen por metro = 0.64 g/l

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - Universidad Nacional Agraria

Tanto el alto contenido de sales y la baja humedad del suelo presente en los ciclos de riego convencional, dificultan a la planta el absorber el agua del suelo. El movimiento del agua desde el suelo a la planta se realiza a causa de la diferencia de potencial que existe entre el agua del suelo y el citoplasma, y resulta de la suma del potencial mátrico (o capilar de la interacción entre la superficie de las partículas del suelo) y el potencial osmótico entre las sales disueltas del suelo y la planta. Con ciclos de riego más frecuentes se puede aumentar la salinidad del agua sin que la planta se vea afectada.

Cuadro 2-4. Clasificación de cultivos según su tolerancia a las sales y valores aproximados de salinidad del suelo para obtener un 90% de productividad.

Tolerancia de los cultivos a la salinidad	Valores aprox. de conduc. eléctrica en el suelo (ds/m)	Cultivos
Sensibles	hasta 1,8	Frejol, zanahoria, frutilla, cebolla, limones, mandarina, naranjo, paltos.
Moderadamente Sensibles	hasta 2,5	Lechuga, ají, haba, maíz, papa, apio, pepino, tomate, brócoli, repollo, vides, alfalfa, trébol.
Medianamente tolerantes	hasta 5,0	Pastos en general, betarraga, zapallo italiano, trigo, sorgo, olivos.
Tolerantes	hasta 6,5	Cebada, espárrago, algodón.

Fuente: INIA

## Sodio

Elevados contenidos de sodio pueden afectar a las plantas y, también, producir problemas de permeabilidad en los suelos. Algunos de los cultivos más sensibles al sodio son el almendro, el aguacate, los frutales de hueso y los cítricos. Contenidos foliares de sodio superiores a 0,3-0,5 % (sobre peso seco) suelen indicar problemas de toxicidad en la mayoría de árboles frutales y cítricos.

El contenido de calcio en el suelo y/o agua de riego, actúa contrarrestando el efecto perjudicial del sodio.

Cuadro 2-5. Peligro de Sodio basada en el valor del SAR

Peligro de Na	SAR	Comentarios sobre el peligro de Na
(S1) Bajo	<10	Puede usarse para el riego de casi todos los suelos, sin peligro de la estructura.
(S2) Medio	10-18	Puede desmejorarse la permeabilidad de suelos de textura fina con alta CIC. Puede usarse en suelos de textura gruesa con buen drenaje.
(S3) Alto	18-26	Se producen daños de los suelos por acumulación de Na. Se requerirá intensivas prácticas de aplicación de enmiendas, drenaje y lixiviación.
(S4) Muy Alto	>26	Generalmente no recomendable para el riego excepto en suelos de muy bajo contenido de sales. Se requerirá practicas de manejo

SAR (Relación de Absorción de Sodio):

$$SAR = Na \text{ en meq. L}^{-1} / ((Ca+Mg \text{ en meq L}^{-1})/2)^{1/2}$$

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - Universidad Agraria

### Cloruro

Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos. Los frutales suelen ser bastante sensibles y su sensibilidad depende en gran parte del portainjerto empleado. En caso de contar con aguas con un alto contenido de cloruro el problema se puede aliviar impidiendo su acumulación en el suelo manteniendo una fracción de lavado del suelo adecuado.

Cuadro 2-6. Cuantificación del peligro por cloruro

Peligro de Cl	mg/l	Comentarios sobre el peligro de Cl
Bajo	< 140	No presenta problemas
Medio	140 - 350	Puede desmejorarse la permeabilidad de suelos de textura fina con alta CIC. Puede usarse en suelos de textura gruesa con buen drenaje.
Alto	> 350	Se producen daños de los suelos por acumulación de Na. Se requerirá intensivas prácticas de aplicación de enmiendas, drenaje y lixiviación.

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - Universidad Agraria

## 2.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

### Microbiológicos

La presencia de virus (enterovirus, adenovirus, rotavirus}, bacterias (coliformes, etc.), protozoos o helmintos de origen humano y su posible transmisión a través de los productos cultivados puede ser origen de diversas enfermedades.

La calidad bacteriológica de estas aguas se establece a partir del número de coliformes fecales y de la presencia de bacterias patógenas como la *Salmonella*, *Shigella* y *Cho/era*.

Además de las bacterias patógenas y virus, las aguas residuales pueden tener protozoos y nematodos intestinales que pueden provocar enfermedades si se ingieren a través de los cultivos regados con estas aguas.

### Elementos traza de Metales Pesados

El contenido de elementos traza en las aguas residuales suele ser más elevado que en las aguas normales. Concentraciones excesivas de algunos elementos como el boro, cobre, hierro y cinc, pueden presentar problemas de toxicidad para las plantas. (Pescad, 1992). Otros elementos traza como el cadmio, cobre, molibdeno, níquel y cinc pueden ser tóxicos para las personas y animales (Page *et al.*, 1981).

En general, los aportes de metales con el agua de riego no suelen ser preocupantes, excepto en los casos en que estas aguas recojan los efluentes de industrias con altos contenidos de estos metales.

### Nutrientes

El valor de los efluentes como fertilizante es tan importante como el valor del agua. Los nutrientes como nitrógeno, fósforo ó potasio esenciales para el desarrollo vegetal, enriquecen las aguas para riego. En las aguas residuales tratadas mediante sistemas convencionales las concentraciones típicas de nutrientes son: de nitrógeno 50 mg/litro; de fósforo 10 mg/litro y de potasio 30 mg/litro (FAO, 1994). Si anualmente se aplican 5000 m<sup>3</sup>/ha, la aportación anual

de fertilizantes sería: 250 kg/ha de nitrógeno; 50 kg/ha de fósforo y 150 kg/ha de potasio. De esta forma, todo el nitrógeno y la mayor parte del fósforo y potasio que son necesarios para la producción agrícola serían suministrados por el efluente. Además, otros valiosos micro-nutrientes y materia orgánica del efluente proporcionarían beneficios adicionales.

Un beneficio adicional es que la mayor parte de estos nutrientes, una vez absorbidos por los cultivos, no entran en el ciclo del agua, y consecuentemente no contribuyen a la eutrofización de los ríos ni a la creación de «zonas muertas» en las áreas costeras, una carga excesiva puede provocar efectos nocivos para el terreno y/o las aguas subterráneas.

### **Compuestos orgánicos**

Existen dos tipos de compuestos orgánicos, los biodegradables y los no biodegradables:

- **Materia orgánica biodegradable:** Las proteínas, carbohidratos y grasas generan unas necesidades de oxígeno disuelto, medidas como DBO ó DQO (Demanda bioquímica y química de oxígeno), cuya no satisfacción da lugar al desarrollo de condiciones sépticas.
- **Materia orgánica no biodegradable:** Determinados productos tóxicos no degradables por los sistemas de tratamientos, tales como fenoles, pesticidas y órganoclorados, pueden limitar el uso en riego.

### **Detergentes**

La presencia de detergentes en las aguas residuales produce la aparición de espuma, cuando las concentraciones de detergente son superiores a 0,5 mg/l. Esta espuma provoca un rechazo del agricultor al empleo de estas aguas para el riego.

## **2.2.3 CONTAMINANTES QUE AFECTAN AL SISTEMA DE RIEGO**

### **TECNIFICADO**

#### **Sólidos en suspensión**

Uno de los principales problemas del empleo de aguas residuales en riego localizado (goteo o microaspersión) es la obturación de los emisores por los sólidos en suspensión de estas aguas. En general, la cloración y un buen filtrado

resuelven estos problemas (Ravina *et al.*, 1995; Hills y Tajrishy, 1995). Su acumulación da lugar a depósitos de lodos que generan condiciones anaeróbicas en el suelo.

### **Precipitación**

La precipitación de carbonato cálcico y magnésico es uno de los problemas más frecuentes en la obturación de goteros por causas químicas, aunque también puede presentar problemas la precipitación de los óxidos de hierro y manganeso y los sulfuro de hierro y manganeso (Pitts, 1996). En general, los problemas de precipitación se solucionan bajando el pH del agua a valores próximos a 7.0 mediante el empleo de ácido clorhídrico o sulfúrico (aunque a veces se emplea también el ácido fosfórico que sirve como aporte de fósforo).

### **Potencial de obturación de emisores según la calidad del agua**

Uno de los principales problemas en los emisores son los pequeños orificios de salida, susceptibles a ser obturados por los contaminantes que hay en el agua.

Cuadro 2-7. Calidad del agua de riego en relación a la obturación de emisores

Factores de obturación	Peligro de obturación		
	Bajo	Medio	Alto
Sólidos en suspensión (mg/l)	<50	50 - 100	>100
pH	<7.0	7.0 - 8.0	>8.0
Sólidos disueltos (mg/l)	<500	500 - 2000	>2000
Manganeso (mg/l)	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
Hierro total (mg/l)	<0,2	0,2 - 1,5	>1,5
Sulfuro de hidrógeno (mg/l)	<0,2	0,2 - 2,0	>2,0
n° de bacterias/mi	<10.000	10.000-50.000	>50.000

Fuente: Nakayama y Bucks (1991)

### **Problemas derivados de la cloración de las aguas residuales**

Aunque la cloración de las aguas residuales es un tratamiento recomendado para su desinfección, en la cloración se forman algunos productos como los trihalometanos que se supone son cancerígenos, así como otros compuestos organoclorados tóxicos.



Concentraciones de cloro residual recomendadas de 0,5-1,0 mg/l, no suponen un peligro para los cultivos, siendo frecuente en las instalaciones de riego localizado la adición, al final de cada riego, de Cl<sub>2</sub> o de una solución de hipoclorito sódico (que libera Cl<sub>2</sub>) para evitar problemas de obstrucción de emisores por la formación de películas de tipo biológico.

## 2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

### 2.3.1 Principales ventajas:

- Los nutrientes presentes en las aguas residuales como el nitrógeno y el potasio, tienen valor como fertilizantes y aumentan la producción de los cultivos.
- Se aumenta la capacidad hídrica de la zona. Pudiéndose disminuir las obras de captación y/o represamiento.
- Se obtiene un caudal relativamente permanente, dado que no depende de las lluvias o avenidas.
- La regeneración y reutilización del agua residual, permite contar con agua de calidad, que en algunos casos, puede ser superior a la existente en las fuentes convencionales
- Ayuda a preservar el caudal ecológico de los ríos y los niveles de los acuíferos, ya que disminuye las demandas de aguas de primer uso.
- La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, o estanques de piscicultura constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas.

### 2.3.2 Principales desventajas:

- Riesgo biológico: Los principales agentes infecciosos que pueden estar presentes en el agua residual se pueden clasificar en tres tipos principales de acuerdo con el agente infeccioso: 1) parásitos (protozoarios y helmintos) 2) bacterias, y 3) virus. Para las personas: es el contenido de elementos patógenos que afectan directamente a la salud humana, estos se cuantifican en NMP CF/100 ml, en ningún caso deben exceder los 1000 **NMP** CF/100 ml

- En el sistema de riego: las obturaciones de los emisores, a causa de los sólidos en suspensión y microorganismos y sólidos en solución que precipitan, esto se soluciona con filtros de malla y arena, cloración y control del pH respectivamente.
- En el suelo y las plantas: la salinidad, esto se debe a que el aporte de sales que derivan del uso urbano de las aguas incrementa la salinidad en 2 dS/m. Las sales no son absorbidas por las plantas. Se maneja con un adecuado lavado del mismo evitando contaminar los acuíferos.

## Capítulo

### 3

## SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO

Cada método de riego presenta características propias de implementación y manejo, que influyen en la eficiencia de aplicación y aprovechamiento del agua por las plantas. Los sistemas riego se denominan tecnificado cuando aplican la técnica para obtener mejores resultados. En una clasificación básica podemos tener los siguientes tipos:

a) Métodos de riego superficiales: se denominan así porque el agua se desplaza normalmente por sobre la superficie del área a regar, cubriéndola total o parcialmente. A estos métodos también se les llama gravitacionales debido a que el agua se mueve por diferencia de cota entre un punto y otro por la acción de la fuerza de gravedad.

b) Métodos de riegos presurizados: se denominan así porque requieren de una determinada presión para operar. El agua puede ser obtenida por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector a regar, o por un equipo de bombeo. Se caracterizan por una alta eficiencia en la conducción y aplicación del agua, y altos costos de infraestructura.



Figura 3-1: Sistema de riego tecnificado presurizado

1) Criterios Técnicos: Son importantes porque entregan alternativas de solución viables para cada caso particular. Aquí deben ser considerados factores como:

Tipo de Cultivo	Suministro y Calidad de Energía
Topografía	Suministro y Calidad de Agua
Operaciones de Cultivo	Asistencia Técnica
Condiciones Climáticas	Requerimientos de Mano de Obra
Confiabilidad del Sistema	Conservación de Recursos Naturales y M.A.

El Cuadro 3-1 presenta algunas características que permiten seleccionar métodos de riego según topografía, suelo, tolerancia del cultivo al agua y viento, y conocer cuál es la eficiencia de aplicación. Como puede observarse, los métodos más eficientes corresponden a aquellos en que el agua se conduce por tuberías con cierta presión y es aplicada en forma localizada, como es el caso de goteo y microaspersión (ó microjet).

De acuerdo a lo anterior, un riego eficiente es aquel en que la mayor cantidad de agua queda en la zona radicular. En el riego presurizado se ha alcanzando eficiencias entre 70 y 90 % y en el riego por gravedad, se obtiene eficiencias de conducción entre 60 al 85 % y aplicación entre el 40 al 60 %.

En el presente capítulo abarcará los Sistemas de riego Tecnificado presurizados, dados que estos permiten obtener el máximo provecho del agua. El sistema de riego por aspersión no será incluido dado el efecto de lluvia puede dispersar el agua por efecto del viento fuera de las zonas de riego, y expone a las hojas y a los frutos a un contacto directo con ella.

### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO Y SUS COMPONENTES**

Cualesquiera sea la forma de aplicar el agua (goteros, cintas, microaspersores, microjets), los componentes utilizados para la operación de estos métodos son similares. A continuación se entrega un detalle de las características de los diferentes elementos que lo componen.

Un equipo de riego presurizado consta de tres unidades fundamentales:

**Cabezal de riego - Red de conducción y distribución - Emisores**

Cuadro 3-1 . Elementos para la selección de un sistema de riego

Método	Topografía	Suelo	Tolerancia al Agua	Viento	Eficie. rk)
Surco Recto	Suelos planos hasta 2%	Limitaciones en suelos arcillosos y arenosos	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	40
Califanina no	Suelos planos hasta 2%	Limitaciones en suelos arcillosos y arenosos	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	50-60
Surco en Contorno	Suelos ondulados hasta 7%	Limitaciones en suelos arcillosos que se agrietan al secarse	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	40
Platabandas	Suelos planos hasta 3%	Limitaciones en suelos arcillosos y arenosos	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	40
Tendido	Suelos no nivelados hasta 8%	Limitaciones en suelos arcillosos y arenosos	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	20-30
Regueras en Contorno	Suelos no nivelados hasta 8%	Limitaciones en suelos arcillosos y arenosos	Adaptable a la mayoría de los cultivos	No tiene efecto	35
Aspersión	Terrenos Nivelados o con Pendiente	Cualquier Tasa de infiltración	Adaptable a la mayoría de los cultivos. Puede favorecer el desarrollo de enfermedades	puede afectar la eficiencia de sistema	60-90
Goteo	Sin limitación	Adaptable a texturas medias y finas	Cualquier cultivo	No tiene efecto	80-90
Microaspersión-Microjet	Sin limitación	Cualquier textura. Recomendable en suelos arenosos	Cualquier cultivo. No mojar tronco en cultivos sensibles	Puede afectar la eficiencia del sistema	85
Cinta	Sin limitación	Adaptable a texturas medias y finas	Hortalizas, frambuesa, frutillas	No tiene efecto	85

Fuente: [www.inia.cl/quilamapu/pubbycom/informativos/info\\_51.htm](http://www.inia.cl/quilamapu/pubbycom/informativos/info_51.htm)

## A. CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de un equipo de riego presurizado está compuesto principalmente por 4 unidades o elementos:

- Fuente impulsora del agua.
- Unidad de filtraje.
- Unidad de fertilización.
- Elementos de programación y control de flujo.

### a) Fuente impulsora del agua:

Sin lugar a dudas que el principal componente de un sistema de riego presurizado es la fuente impulsora, la que debe otorgar presión y caudal de agua suficiente al sistema; situación que debe estar en función de las necesidades que demanda una instalación en particular. La presión puede ser proporcionada mediante una motobomba o un reservorio canal o estanque a una determinada altura de la superficie a regar.

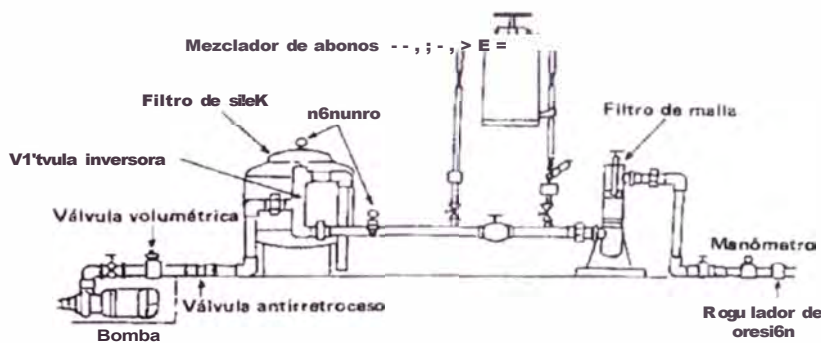


Figura 3-2. Cabezal de riego típico

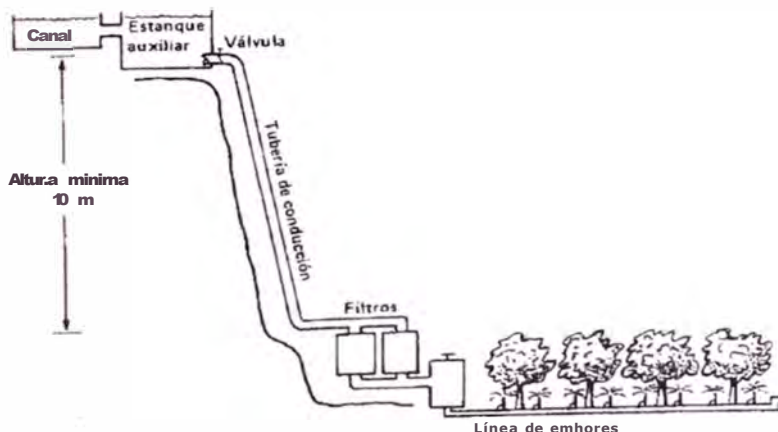


Figura 3-3. Diseño de cabezal de bombeo utilizando la fuerza de gravedad.

## b) Unidad de filtraje

Impide el taponamiento u obturación de los emisores. Utilizándose dos elementos complementarios

- Filtro de arena.
- Filtro de malla.

**b.1 Filtros de arena:** Los filtros se utilizan para remover la materia orgánica pequeña que no es retenido por las rejillas, la cual es de origen vegetal principalmente. Los filtros retienen pequeñas partículas minerales. En una estación de riego se debe colocar por lo menos dos filtros para que en el proceso de lavado de uno se utilice el agua filtrada por el otro. El retrolavado se realiza cuando hay un descenso en la presión de operación del sistema mayor a 4-6 m.c.a. según Figura 3-3.

**b.2 Filtros de malla.** Normalmente se sitúan en el cabezal inmediatamente después del filtro de arena y del tanque fertilizante. Su objetivo es retener las impurezas que puedan pasar el filtro de arena y las procedentes de abonos añadidos. Generalmente las impurezas retenidas son de origen mineral. En un filtro de malla limpio (Figura 3-4) las pérdidas de cargas varían de 1 a 3 m.c.a., debiéndose limpiar el filtro cuando ésta aumente sobre dichos valores.

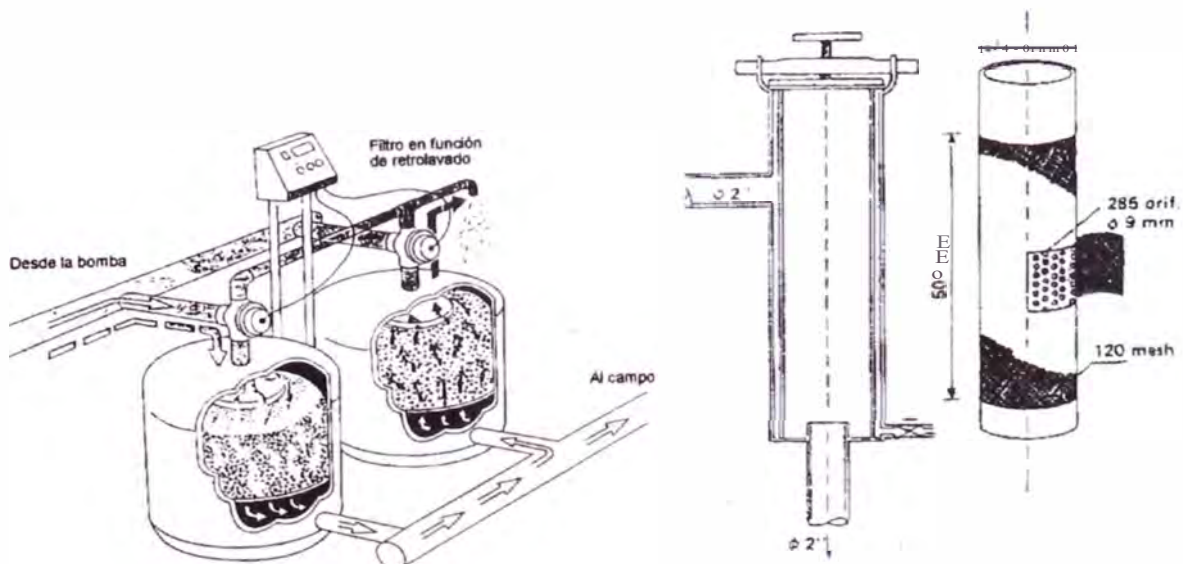


Figura 3-4. Retrolavado en filtros de arena y programador de riego. Izquierda

Figura 3-5. Filtro de malla. Derecha

### **c) Unidad de fertilización**

Se emplea para añadir los fertilizantes necesitados por el cultivo. También pueden aplicarse ácidos (ácido sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico), fungicidas y desinfectantes, como el hipoclorito de sodio. Deben ir aguas debajo de los filtros de arena para evitar que un ambiente rico en nutrientes favorezca el crecimiento de algas en éstos, a la vez que impide la absorción de fertilizantes por parte de las arenas.

### **d) Elementos de Programación y Control de Flujo**

Los elementos de programación son elementos electrónicos que permiten automatizar el accionamiento de la red y a la vez operar en forma secuencial el riego en distintos sectores. Su inclusión, aun cuando es opcional, se justifica en instalaciones de gran superficie o de difícil manejo. Se usan también para automatizar el proceso de limpieza de los filtros.

Entre los Elementos de regulación y control de flujo se encuentran las válvulas de distinto tipo: de paso, reguladores de presión, de retención (check), hidráulicas, electrónicas, volumétricas, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regulan el comportamiento del flujo y la presión en la red.

## **B) RED DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION**

Las tuberías que se utilizan en las instalaciones de riego presurizado son fundamentalmente de tuberías de Polietileno (PE) y Policloruro de Vinilo (PVC) y últimamente, polipropileno y polibutileno. El PVC es rígido y más barato que el polietileno para diámetros de 50 mm y superiores. Por último, el PE es flexible a la vez que resulta ser el material más barato para diámetros inferiores a 50 mm. Por lo que se utiliza siempre en la red terciaria y ramales de riego.

En definitiva, el conjunto de tuberías deben ser capaces de conducir, con la mayor eficiencia posible, el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la planta misma. Para que ello ocurra, se efectúan una serie de combinaciones de diámetros y tipos de tuberías.



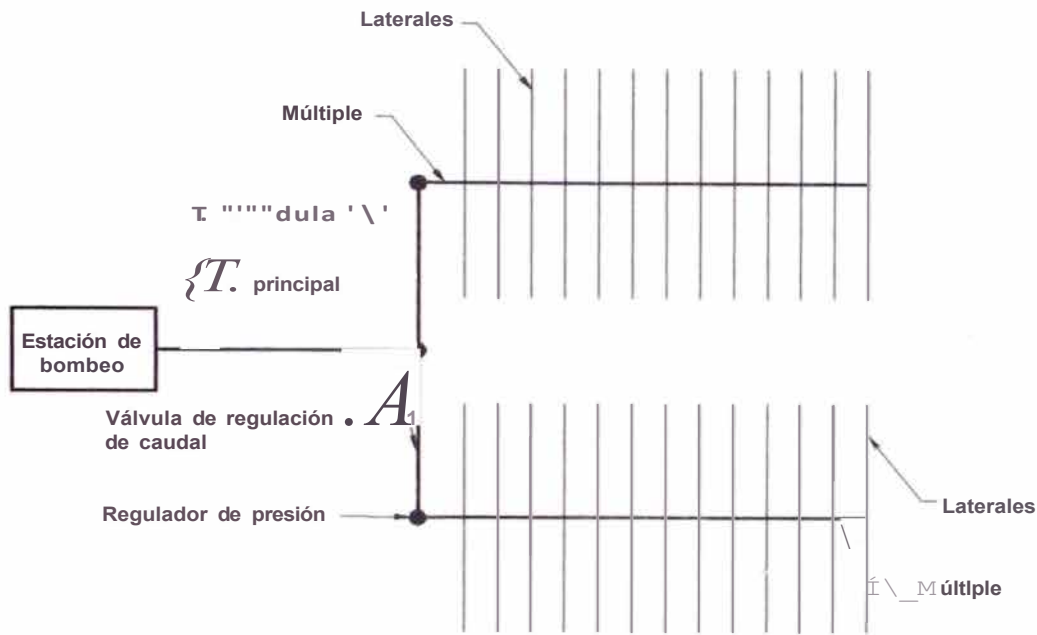


Figura 3-6. Esquema de una red de conducción y distribución de un sistema de riego presurizado.

### Matriz o línea principal

Es la tubería de mayor diámetro en la red, su función es conducir el agua hasta la derivación de los diferentes sectores. Normalmente es de PVC o bien Rocalit (en diámetros mayores) generalmente van instaladas bajo tierra.

### Submatrices o líneas secundarias

Corresponden a tuberías de menor diámetro que la matriz o línea principal y son las encargadas de llevar el agua desde ésta al sector correspondiente.

### Terciarias o múltiples

Estas son las tuberías que distribuyen el agua hacia las líneas con goteros actuando como cabecera de la línea portagoteros o lateral. Son generalmente de PVC y de diámetro más pequeño que las submatrices, pudiendo combinarse varios diámetros en su diseño. Generalmente también van instaladas bajo tierra.

### Líneas portagoteros o laterales

En estas tuberías se insertan los goteros. Son de polietileno y por lo general de 16 ó 12 mm de diámetro. Estas son las tuberías que van sobre la superficie en la hilera de cultivo.

### C) EMISORES

Los emisores son dispositivos que controlan la salida de agua desde las tuberías laterales con caudales inferiores a 12 l/h. Los más utilizados son los emisores de 4 l/h.

En un sistema de riego presurizado se puede recurrir a distintos tipos de emisores.

- 1) Goteros.
- 2) Cintas o tuberías perforadas.
- 3) Microaspersores y Microjets.

#### C.1 Goteros

Es un aparato fijo en el ramal de riego, cuya misión es dejar salir el agua de una manera controlada, gota a gota o mediante un pequeño chorro. Es el sistema más difundido

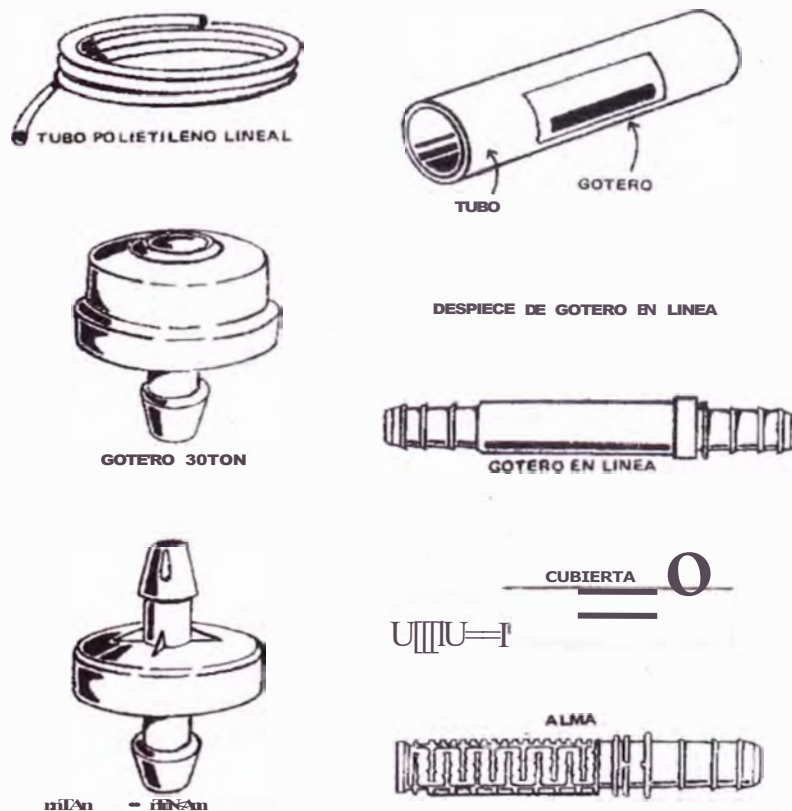


Figura 3-7. Diferentes tipos de goteros

## C.2 CINTAS O TUBERIAS PERFORADAS

Las tuberías emisoras conducen y, a la vez, aplican el agua, bien a través de unas perforaciones poco espaciadas o a través de la pared porosa. Con frecuencia son fabricadas de polietileno y deberían colocarse enterradas a poca profundidad. Son de bajo costo y se utilizan para riego de cultivos en línea, tipo hortalizas, cuyo marco requeriría gran cantidad de goteros.

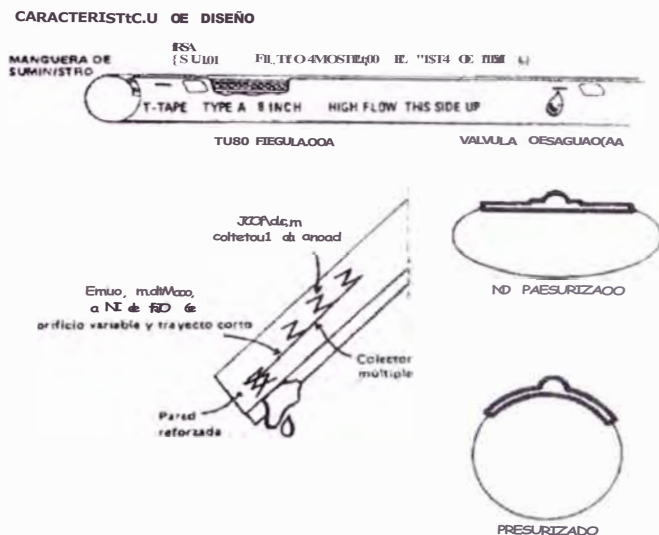


Figura 3-8 Diferentes tipos de cintas o tuberías perforadas.

## C.3 MICROASPERSORES Y MICROJETS

Cuando se riega utilizando estos emisores el agua de riego se aplica como una lluvia de gotas finas a baja altura en un radio no superior a los 3 metros. La diferencia entre microaspersores y microjets es que en los primeros el chorro de agua va rotando y en los últimos es estático.

Las principales ventajas de regar con microaspersores y microjets son las siguientes:

- Su aplicación es conveniente en suelos de textura gruesa, dado que el riego por goteo forma bulbos estrechos y profundos, lo que puede dar lugar a que no se humedezca toda la zona radicular.
- Mayor uniformidad de riego, como consecuencia de mejores factores hidráulicos y de fabricación de emisores.
- Mayor facilidad de inspección para corregir anomalías
- Menor proporción de obstrucciones, debido a un mayor diámetro de la boquilla de los emisores y a una mayor velocidad del agua.

- Mayor facilidad para controlar las sales del bulbo húmedo, ya que son más fáciles los riegos de lavado.
- El costo de la red de tuberías es menor que en un riego por aspersión y similar al riego por goteo, dado que se administran caudales medios (25 a 120 l/h) a menor presión que la aplicada en aspersión.

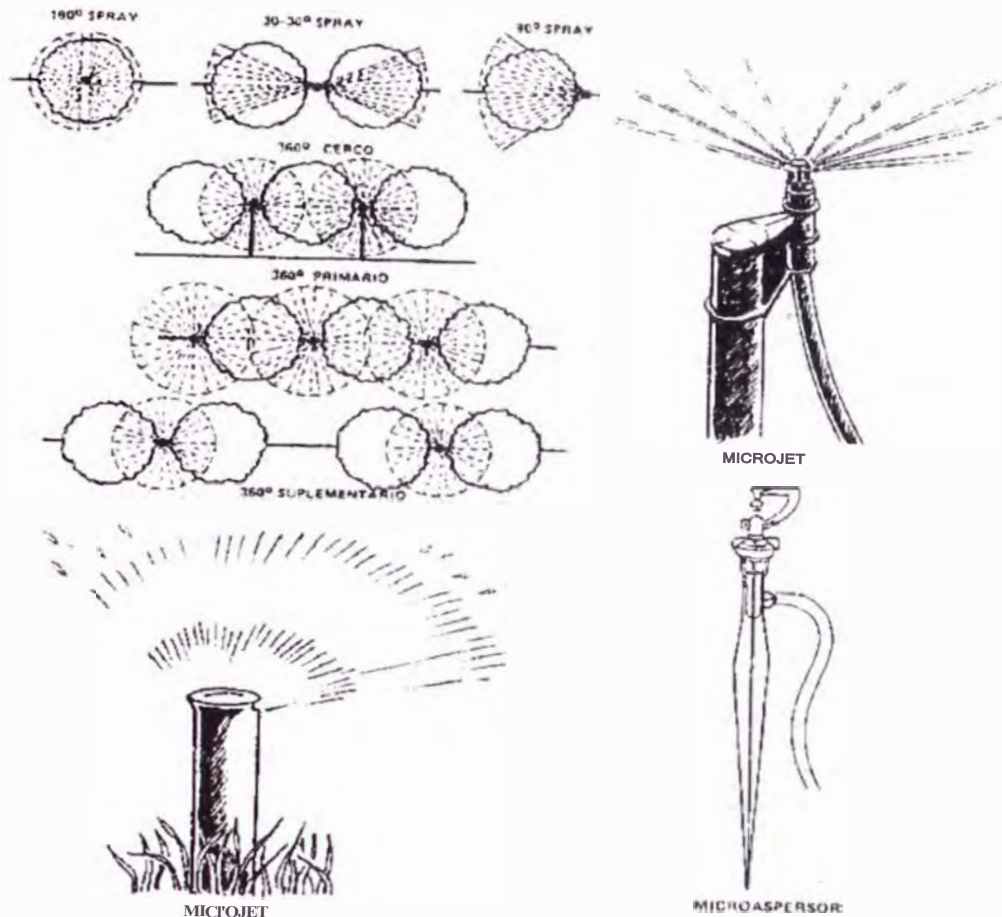


Figura 3-9. Características de microjet y microaspersores.

Al seleccionar un emisor es necesario considerar las siguientes características:

- a) Que entreguen un caudal relativamente bajo, pero uniforme y constante, con pocas variaciones de presión.
- b) El diámetro del conducto debe ser suficiente para que no se obture fácilmente y para permitir un adecuado paso de agua.
- c) Fabricación robusta y barata, con buena uniformidad de fabricación.
- d) Resistencia a la agresividad química y ambiental.
- e) Estabilidad de la relación caudal - presión a lo largo de su vida.
- f) Poca sensibilidad a los cambios de temperaturas.
- g) Reducida pérdida de carga en el sistema de conexión.

Cuadro 3-2: Clasificación y características generales de los Emisores

Emisor		Exponente de descarga (x)	Sensibilidad Obstr p y T°		Características	Rango de presión (m. e.a)	Caudal (l/hr)
Goteros	Largo con dueto		alta	alta	Tubo de pequeño diámetro y gran longitud.	3 - 12	2-4
	- Microtubo	0.75 -1.00					
	- Helicoidal	0.65 - 0.85		media	El dueto tiene forma de hélice alrededor de un cilindro.	3 - 12	2-4
	Laberinto	0.45 - 0.55	baja	baja	Trayectoria del agua en laberinto	3 - 12	2-4
	Orificio	0.50	alta	baja	Descarga por uno o varios orificios de pequeño diámetro.	3 - 12	2-4
	Remolino	0.45 - 0.55	baja	baja	Cámara circular donde se produce un remolino, cuyo centro se localiza en el punto de emisión.	3 - 12	2-4
	Autocompensante	0.00 - 0.30	alta	baja	Una membrana flexible se deforma bajo el efecto de la presión, limitando el caudal.	10 - 35	
Tuberías emisoras	Manguera perforada		alta		Tubería de poco espesor, con perforaciones espaciadas uniformemente.		
	Manguera de doble pared				Dos tuberías concéntricas o paralelas con perforaciones, el agua circula por la tubería interna.		
	- Bi-wall	0.50		baja	Diámetro 12mm, emisores separados 30 cm.	10	40 /m
	- T-tape	0.90		alta	Diámetro 16mm, emisores separados 20 y 60 cm.	5 - 10	8 - 95/m
	Cintas porosas o de exudación		alta	alta	Cintas de material poroso, se recomienda enterrarlas superficialmente.	1 - 3	1 - 2
Microaspersión	Difusores	0.50	baja	baja	Dispositivos con toberas fijas.	10 - 20	20 - 150
	Microaseroses	0.50	baja	baja	Dispositivos con movimiento de rotación.	10 - 20	20-150

Fuente: Medina 1997

### 3.2 PRINCIPIOS DEL DISEÑO AGROLÓGICO E HIDRÁULICO

Existen criterios generales que deben tomarse en cuenta para el diseño de un sistema de riego, considerándose **aspectos agronómicos** y **aspectos hidráulicos**, tal como se indica en el Figura 3.

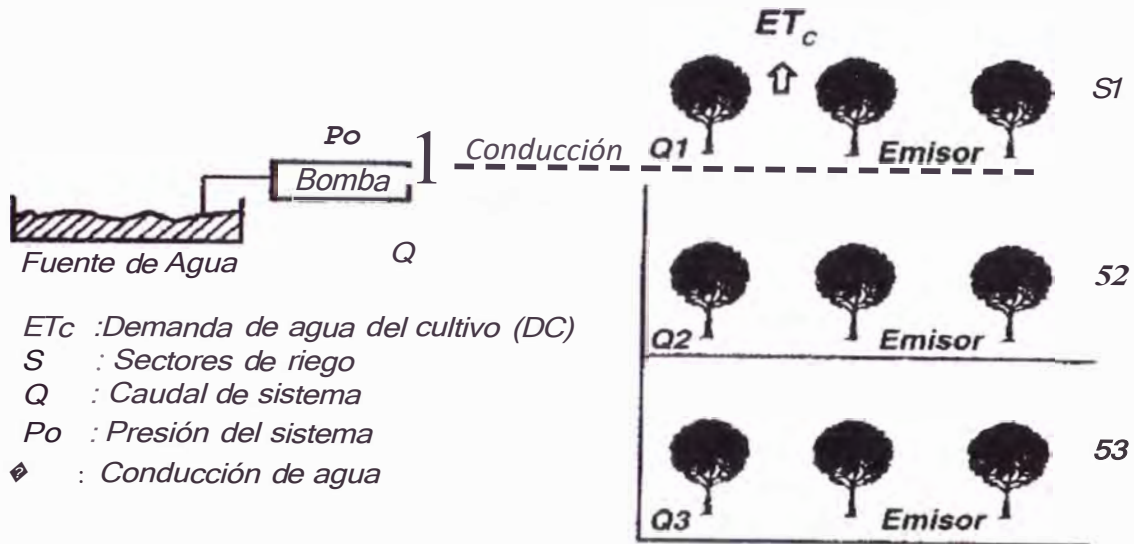


Figura 3-10: Esquematización de los criterios a considerar en el diseño de un riego presurizado.

Los criterios, demanda de agua del cultivo, sectores de riego y caudal del sistema, responden fundamentalmente a decisiones de tipo agronómico que influyen en el diseño y están relacionados con el complejo suelo-agua-planta-atmósfera. Los criterios sobre presión del sistema y conducción del agua obedecen a principios de tipo hidráulico.

#### 3.2.1 DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico tiene como objetivo principal hallar la cantidad de agua y la forma en que esta será entregada al cultivo, determinando la cantidad de agua disponible en el suelo, asociada con los requerimientos del cultivo, para luego, vía riego, proveer el agua necesaria para satisfacer en forma adecuada y oportuna las exigencias del cultivo.

En riegos tecnificados esta demanda se entrega a la planta mediante emisores teniendo previamente que definir su caudal medio, cantidad de emisores por

**Coefficiente del cultivo (Kc)** es un factor que varía según el tipo de cultivo y según las distintas etapas de su desarrollo. Para efecto de diseño debe considerarse el valor Kc mayor que aparece en cuadro 3-3.

**Cuadro 3-3:** Coeficientes de cultivos (Kc)

Cultivo	Porcentaje de la estación de crecimiento				
	0%	20%	40%	60%	80%
	Establecimiento inicial	Desarrollo del cultivo	Media estación	Inicio de madurez	Madurez fisiológica
Alfalfa	0,30-0,40	----- - promedio 1,10 -----			
Algodón	0,2 - 0,50	0,07 - 0,85	1,05- 1,30	0,90-1,05	0,30-0,60
Arveja verde	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	1,00 - 1,15	0,95 - 1,05
Cebolla guarda	0,40- 0,50	0,60-0,80	0,95-1,15	0,80-1,00	0,70 - 0,80
Cebolla verde	0,40-0,50	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,95 - 1,10
Cítricos y paltos	0,60-0,70	0,60-0,70	0,80-0,90	0,80-0,90	0,60 - 0,70
Frejol grano	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,25-0,30
Frejol verde	0,30-0,40	0,65- 0,75	0,95-1,05	0,90- 0,95	0,85-0,95
Frutales e/cubierta verde	----- promedio 1,00 -----				
Frutales hoja caduca	0,40 - 0,50	0,75- 0,85	<b>1,10-1,20</b>	1,10 - 1,20	0,7 - 0,90
Hortalizas arraigamiento superficial	0,30- 0,40	0,60 - 0,75	0,90-1,10	0,90-1,10	0,80 - 0,90
Maíz	0,30-0,50	0,70- 0,85	1,00-1,20	0,80-0,95	0,50-0,60
Melón, zapallo	0,40-0,50	0,60- 0,75	0,95 - 1,05	0,70- 0,80	0,60- 0,70
Papa	0,40 - 0,50	0,70-0,80	1,05-1,20	0,85-0,95	0,70 - 0,75
Pimentón	0,30 - 0,40	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,80-0,90
Sandía	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80- 0,95	0,65 - 0,75
Tomates	<b>0,30-0,40</b>	0,60-0,80	1,10-1,25	0,80 - 1,00	0,60- 0,80
Trigo	0,30- 0,40	0,70 - 0,80	1,05-1,20	0,65 - 0,75	0,20 - 0,25
Vid	0,30- 0,50	0,60-0,80	0,80 - 0,90	0,60- 0,80	0,50 - 0,70

<sup>1</sup>Valores derivados de CNR-CIREN, 1997.

### El coeficiente del suelo (Ks)

Considera los grados de absorción y percolación de los diversos tipos de suelo y toma los siguientes valores:

1.00	suelo arcilloso
1.05	suelo arcilloso-limoso
1.10	suelo arenoso
1.15	suelo con gravas

### **Demandas netas y brutas del cultivo**

Para calcular el volumen de agua en litros que requiere una planta al día basta multiplicar los mm/día por el marco de plantación (M.R) y por el porcentaje de cubrimiento (P.C.) del follaje en relación al marco de plantación; de esta forma las demandas netas del cultivo (D.N.C) serán las siguientes:

$$\text{D.N.C.} = \frac{\text{ETc} \times \text{M.P.} \times \text{P.C.}}{100}$$

El valor del porcentaje de cubrimiento (P.C.) varía según el estado de desarrollo del cultivo, siendo igual al 100% en plena producción.

Pero como los métodos de riego que utilizamos no son 100% eficientes, la demanda real o bruta (D.B.C) será igual a la demanda neta dividida por la eficiencia. Si estamos regando por goteo esta eficiencia será de 90% (ver Tabla 1).

Luego entonces la Demanda Bruta será

$$\text{D.B. C.} = \text{D. N. C.} / \text{Eficiencia}$$

### **Dosificación del volumen de agua diario**

Será necesario definir 2 aspectos: número de emisores por planta y espaciamiento entre ellos.

### **Número de emisores**

Dependerá porcentaje del suelo se quiera mojar (P.S.M.), la cual no debiera ser inferior a 30-40%. De esta forma el número de goteros (n.g.) puede quedar definido por la siguiente relación:

$$\text{n.g.} = \frac{\text{M.P.} \times \text{P.S.M.}}{100 \times \text{Amg}}$$

Donde:

n.g. = número de goteros por planta

M.P. = marco de plantación (m<sup>2</sup>)

P.S.M = porcentaje de suelo a mojar

Amg = área mojada por emisor (m<sup>2</sup>)



### **Espaciamiento entre emisores**

Estará dado por: Espaciamiento = separación entre plantas / número de goteros

Con este distanciamiento se asegura un traslape de los bulbos de mojado y se cumple el requisito de porcentaje de suelo humedecido.

### **Tiempo de riego diario**

El tiempo de riego diario (TRD), se puede calcular con la siguiente relación.

$$T.R.D. = 0.8.C / (n.g \times q.g.)$$

Donde:

D.B.C. = demanda bruta del cultivo

n.g. = número de goteros

q.g. = caudal del gotero

### **Cantidad de sectores o módulos de riego**

Un proyecto de riego tecnificado debe diseñarse para que los equipos instalados tengan un uso intensivo en el período de mayor demanda de agua. Los equipos deben diseñarse para tiempos mínimos de funcionamiento de 12 horas, en proyectos de pequeños agricultores y 18 horas en proyectos de agricultores medianos y grandes. En tales circunstancias y tomando como base nuestro ejemplo, el número de sectores de riego quedará definido de la siguiente forma:

$$N^{\circ} \text{ sectores de riego} = \text{Jornada de trabajo} / T.R.D$$

### **Caudal de diseño**

El caudal de diseño (Qd) dependerá de la superficie que cubre nuestro proyecto y será igual a:

$$Qd \text{ (l/hr)} = (\text{Ng de plantas/ha}) \times (\text{superficie del sector (ha)}) \times (n.g.)$$

En el caso de los sectores irregulares deberá tomarse el sector de mayor superficie.

### 3.2.2 DISEÑO HIDRAULICO

En el diseño de un sistema riego de alta frecuencia (RALF) los cálculos hidráulicos se realizan posteriormente al diseño agronómico, considerando otros factores tales como las características de los emisores disponibles en el mercado, la topografía del terreno, la elevación de la fuente de agua, los caudales disponibles de la fuente de agua, etc. El proceso de cálculo sigue el diagrama mostrado en la figura 3-10

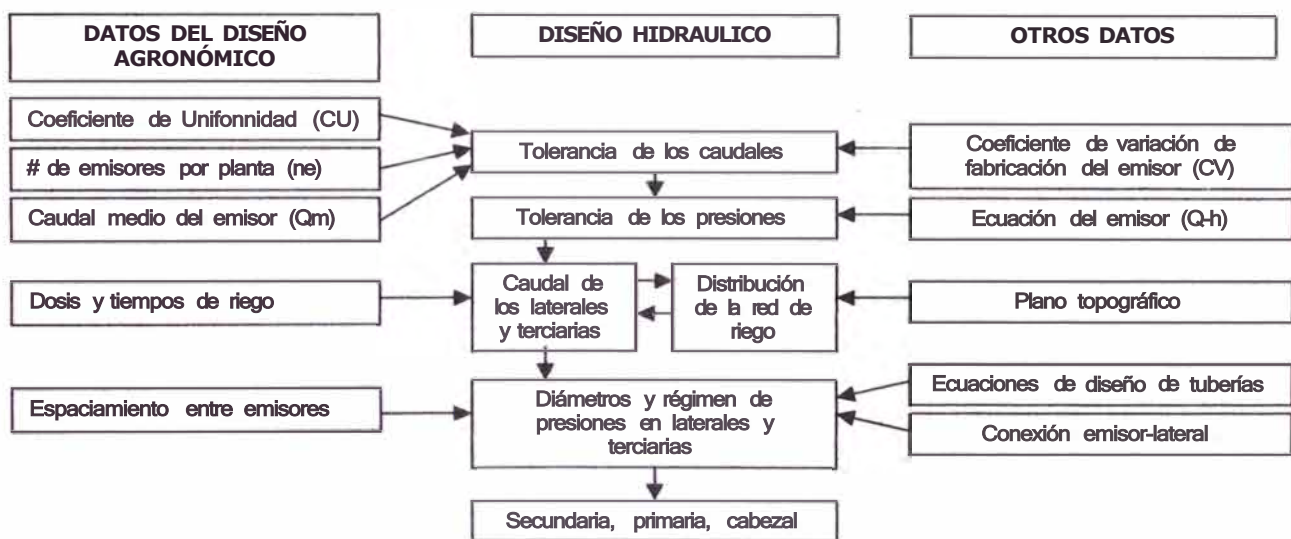


Figura 3-11 secuencia del diseño hidráulico de un sistema RALF

El diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado es similar al de una red abierta de abastecimiento de agua. El objetivo del diseño es el de definir los diámetros de las tuberías, y su disposición en el terreno, de tal forma que se obtengan velocidades y presiones que estén dentro de un rango que se obtiene del coeficiente de uniformidad del sistema y la ecuación característica del emisor. A continuación desarrollaremos los siguientes conceptos:

#### Rango de velocidades

Se pueden dar las siguientes recomendaciones de velocidades óptimas para diámetros:

- Pequeños (hasta 150 mm), alrededor de 1m/s.
- Medios (de 150 a 350 mm), comprendida entre 1 y 1.5 m/s.
- Grandes (superiores a 350 mm), puede llegar a 2m/s

La velocidad mínima suele fijarse en 0,6 *mis*, para evitar sedimentación de las partículas en suspensión, mientras que la velocidad máxima es de 3 m/s, para evitar problemas de sobrepresiones y depresiones (golpe de ariete).

**Coefficiente de Uniformidad:**

Para un riego eficiente en un terreno que mantiene las mismas condiciones en toda su extensión, todas las plantas deberían recibir la misma cantidad de agua de acuerdo a su requerimiento agrológico.

El coeficiente de uniformidad de riego indica el grado en que se satisface esta condición y se calcula como el producto entre el coeficiente de uniformidad por factores constructivos multiplicado por el coeficiente de uniformidad hidráulico.

$$CU = CU_c \times CU_H \cdot \left[ 1 - 1.21 \frac{Cv}{\sqrt{ne}} \right] \times \left[ \frac{Q_{mp}}{Q_m} \right]$$

Donde:

ne = número de emisores por planta

Cv = coeficiente de variación por fabricación =  $\sigma/Q_m$

- Categoría A: emisores de elevada uniformidad (CV < 0.05)
- Categoría B: emisores de baja uniformidad (0.05 < CV < 0.1 O)

O<sub>mp</sub> = caudal del emisor sometido a menor presión

O<sub>m</sub> = caudal del emisor sometido a la presión medio

Cuadro 3-4. Valores de CU económicos recomendables en riego localizado

Emisor	Emisores por planta	1Topografía y pendiente (i)	CU
Goteros espaciados más de 1m	Más de 3	Uniforme (i<2%)	0.90-0.95
		Uniforme (i>2%) u ondulada	0.85-0.90
	Menos de 3	Uniforme (i<2%)	0.80-0.90
		Uniforme (i>2%) u ondulada	0.80-0.90
Goteros espaciados menos de 1m, mangueras y cintas de exudación		Uniforme (i<2%)	0.80-0.90
		Uniforme (i>2%) u ondulada	0.70-0.85
		Uniforme (i<2%)	0.90-0.95
Difusores y microaspersores		Uniforme (i>2%)	0.80-0.90
		Uniforme (i<2%)	0.90-0.95
		Uniforme (i>2%) u ondulada	0.80-0.90

Fuente: Fuentes Vagüe 1998

### Ecuación del emisor y presión de trabajo:

La relación Presión vs Caudal para los emisores finales de un sistema RLAF tiene la siguiente forma:

$$Q = kh^x$$

Donde:

k = constante del *emisor*

h = presión en metros

x = 1 para flujo laminar

x < 1 para flujo turbulento

Los valores de k y x son determinados empíricamente conociendo dos puntos presión-caudal (H1, Q1) y (H2, Q2). Valores de los exponentes x están expresados en el cuadro 3-2

### Cálculo del rango de presiones:

Combinando la ecuación del coeficiente de uniformidad con la ecuación (Q-H) del emisor podemos hallar el rango de *presiones* que se *permite* en el *sistema* de tal manera que las plantas reciban una diferencia de caudales de agua aceptable.

Presión mínima en el emisor de menor presión

$$h_{mp} = h_m \sqrt[x]{\left[ \frac{C_u}{1 - 1.27 \frac{C_v}{\sqrt{ne}}} \right]}$$

### Pérdidas de energía por fricción en tuberías a presión

Las pérdidas continuas de energía por fricción en cada tramo se calculan con la ecuación de Darcy-Weisbach. La pérdida de carga total por fricción en un nudo de la red, de igual manera que en el caso de los caudales, es la acumulación de todas las pérdidas en los tramos que le preceden.

Ecuación de Darcy-Weisbach, para pérdidas continuas por fricción:

$$hf = f \frac{l v^2}{d 2g}$$

Donde:

- hf = energía por unidad de peso perdida por fricción
- f = factor de fricción de Darcy. Función compleja del número de Reynolds y de la rugosidad relativa (Ks/d)
- l = longitud del tramo de la tubería en el cual se pierde hf
- d = diámetro de la tubería
- v = velocidad media

Las pérdidas locales por accesorios se calculan con la siguiente ecuación

$$h_l = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- K = coeficiente del accesorio (válvulas, uniones, codos, etc.)

### **Cálculo hidráulico de los Submódulos: cálculo de múltiples y laterales de riego**

El proceso de diseño se puede describir mediante los siguientes pasos:

1. Escoger los diámetros de las mangueras que van a conformar los laterales de riego, utilizando los disponibles en el mercado local. Escoger el diámetro del múltiple, el cual debe permitir una conexión adecuada con las mangueras que van a conformar los laterales de riego
2. Escoger el emisor con las condiciones más adversas de presión y asignarle la presión mínima permisible. En general se puede iniciar con el emisor más alejado del regulador de presión o punto de entrada al submódulo. Otra opción sería la de escoger el emisor más elevados desde el punto de vista topográfico.
3. A partir del emisor de mínima presión, calcular el lateral que lo contiene.

Así la presión ( $h_i$ ) en cada emisor del lateral será:  $h_i = h_{m01} + \sum_{j=1}^{i-1} h_{l_j}$

El caudal de salida para este emisor es:  $Q_i = k h_i x$

Caudal para cada uno de los tramos del lateral:  $q_j = \sum_{i=1}^j Q_i$

4. Se obtiene la presión entre el lateral que contiene el emisor de mínima presión y el múltiple, que llamaremos punto ( $m_1$ ).

5. Se calcula la presión en el siguiente lateral, proceso debe hacerse por tanteo, ya que no se conoce el caudal que pasa por el lateral, variando la presión en el último emisor del lateral.
6. Conocida la presión en el punto m1 se procede a calcular la presión en el punto de unión entre el lateral 2 y el múltiple (punto m2) mediante la ecuación:

$$h_{m2} = h_{m1} + h_{J_{m1-m2}}$$

Donde la pérdida de presión por fricción esta dada por:

$$h_{J_{m1-m2}} = \frac{f l v^2}{2g d} = \frac{f l Q^2_{m1-m2}}{2g A_m^2}$$

7. Posteriormente se verifica que en ningún emisor, la presión sea menor que la mínima permisible. De ocurrir esto, el proceso debe reiniciar cambiando la presión del emisor del paso 2
8. Finalmente se comparan las presiones obtenidas con el rango de presiones. Si son muy diferentes es necesario cambiar los diámetros de los múltiples y laterales y reiniciar el proceso.

### Cálculo de tuberías primarias y secundarias

Los pasos que se deben seguir para el diseño de las tuberías secundarias y primarias se pueden resumir así:

1. Determinar el caudal de diseño teniendo en cuenta el número de submódulos que es necesario regar simultáneamente.
2. Escoger la ruta crítica, es decir el conjunto de tuberías primaria-secundaria que más pérdidas de energía pueda producir y la cabeza topográfica que es necesario vencer.
3. Llevar a cabo el diseño de las tuberías principal y secundaria como una red abierta, en donde las incógnitas son los diámetros de dichas tuberías.
4. Las presiones de llegada de las tuberías secundarias a los submódulos debe ser mayor o igual a la requerida por el módulo, pudiendo ser regulada con un regulador de presión.

### Uso eficiente del agua de riego

- a. Minimiza las pérdidas directas por evaporación, al no existir movimiento de gotas de agua a través del aire, no hay un humedecimiento del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo, fuera de aquella mojada al lado del emisor.
- b. Limita el crecimiento de las malezas y su consumo no beneficioso del agua.
- c. No produce pérdidas por escurrimiento superficial.
- d. Se puede regar toda un área hasta los bordes, sin que queden zonas mojadas fuera del área plantada o zonas sin mojarse.
- e. Puede lograrse un ahorro de agua, ya que es posible aplicar cargas de agua muy precisas durante cada riego.

### Respuesta de las plantas

La respuesta en desarrollo y rendimiento de los cultivos regados por goteo generalmente es superior a los obtenidos con otros sistemas de riego especialmente en hortalizas y en huertos frutales.

- a. El ambiente de las raíces. Un sistema de riego de alta frecuencia bien operado permite una aireación del suelo efectiva, una provisión de suficientes nutrientes y fertilizantes inyectados en el agua y una constante baja tensión del agua del suelo.
- b. Reduce las enfermedades, plagas y problemas fungosos; al minimizar el humedecimiento de la superficie del suelo y del follaje de la planta.
- c. Salinidad. Cuando deben usarse aguas salinas para el riego, es muy conveniente utilizar sistemas de riego de alta frecuencia, para mantener continuamente un alto contenido de agua en el suelo; de esta manera, la concentración de sales en el agua del suelo puede ser mantenida más baja que aquella que pueda producir daño a las plantas; en cultivos sensibles, pueden producirse quemaduras de las hojas al concentrarse las sales sobre la parte aérea del cultivo cuando se utiliza un sistema de riego por aspersión.
- d. Facilita el control de malezas. En zonas áridas los huertos frutales regados por goteo se han mantenido prácticamente libres de malezas, ya que éstas no crecen en la superficie del suelo que se mantiene seca entre las hileras.

## **Beneficios agronómicos**

Es posible obtener varios beneficios al mojar solamente una parte del suelo y mantener otra parte de la superficie seca por medio del riego por goteo.

- a. Las actividades de riego no interfieren seriamente con otro tipo de trabajo agronómico como la preparación del suelo, la pulverización de agroquímicos, la cosecha y el embalaje.
- b. Reduce la necesidad de escardar el suelo, ya que hay mucho menos malezas, hay menos encostramiento del suelo y pocos problemas de compactación, en comparación con otros sistemas de riego.
- c. Permite un control efectivo de la aireación del suelo, dado que las posibilidades de que se produzca escurrimiento superficial son reducidas a un mínimo
- d. La fertilización puede formar parte del sistema de riego, por la posibilidad de distribuir el fertilizante y llevarlo hasta la zona de raíces en forma controlada. La inyección de fertilizantes es eficiente en términos de mano de obra y cantidad de fertilizantes usados.

## **Beneficios de manejo y beneficios económicos**

- a. Para regar cultivos ampliamente espaciados y plantados en hileras, como por ejemplo árboles frutales, el costo de un sistema de riego por goteo diseñado correctamente es bajo en relación con cualquier otro sistema de riego permanente.
- b. En huertos frutales, el costo de un sistema de riego por goteo puede ser menor que el costo de riego por aspersión que tenga un sistema de automatización similar.
- c. Los costos de operación y mantenimiento del sistema de riego por goteo son generalmente pequeños.
- d. Ideal para regar cultivos bajo cubierta plástica, porque las líneas de emisores pueden ser colocadas bajo las cubiertas.
- e. La operación del sistema de riego no es afectada por el viento, lo cual es una ventaja muy importante sobre el sistema de riego por aspersión.
- f. Puede ser adaptado para terrenos con pendientes no uniformes más que cualquier otro sistema de riego.



- g. Tamaño de las tuberías y el uso de energía reducido. Ya que presiones relativamente bajas y descargas constantes y su eficiencia de aplicación es generalmente alta.

### 3.3.2 PROBLEMAS POTENCIALES DEL RIEGO TECNIFICADO LOCALIZADO

El riego por goteo está sujeto a tres problemas potenciales importantes: la oclusión de los emisores, los problemas de salinidad alrededor de las plantas y la desuniforme distribución de la humedad en el suelo.

#### Sensibilidad a la oclusión de los goteros

Es el problema más serio que debe considerarse en el riego por goteo. Las causas más comunes son las partículas de arena y los crecimientos orgánicos; la filtración del agua de riego es la mejor defensa contra estos problemas, pues es bastante difícil y caro detectar y limpiar un emisor tapado. La oclusión paulatina de los goteros puede deberse a una depositación de precipitados y a un incremento en la cantidad de limo en los emisores; se generan así problemas de distribución heterogénea a lo largo de los laterales, lo que puede dañar muy severamente a un cultivo.

#### Desarrollo de condiciones de salinidad del suelo

Todas las aguas de riego contienen algunas sales disueltas; como la planta absorbe solamente el agua, una gran parte de la sal es dejada en el suelo. Lo mismo ocurre en el proceso de la evaporación. Estas sales son generalmente empujadas hacia los bordes de la masa de suelo humedecida durante la estación de crecimiento. Por medio de una aplicación mayor de agua que la cantidad consumida por las plantas, la mayor parte de las sales puede ser empujada o lavada fuera de las zonas de raíces.



Figura 3-12. Acumulación de sales en el borde superficial de humedecimiento

## **Distribución de la humedad en el suelo.**

El sistema de riego por goteo normalmente humedece solo una parte del volumen de suelo necesario para el crecimiento de las raíces; por lo tanto, el desarrollo del sistema radical de un cultivo está limitado al área de humedad alrededor de cada emisor. No está claramente definido como esto afecta a la planta y a los rendimientos; a pesar de que los cultivos pueden crecer en un perfil de suelo parcialmente mojado, parece que existe un mínimo volumen de suelo necesario para un crecimiento óptimo; el tamaño de este volumen mojado es una función de la descarga de los emisores, de la distancia entre los emisores y del tipo de suelo. La distribución de la humedad debe ser una de las principales preocupaciones en el diseño de un riego por goteo, ya que es muy difícil hacer cambios más adelante.

# Capítulo

# 4

## INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 4.1 PROCESOS DE LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO

Para efectuar la correcta instalación de un equipo de riego es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Planificación: En esta etapa el diseñador hace entrega del proyecto de riego al agricultor, para establecer luego la ubicación de la fuente de agua, tanque acumulador, cabezal de riego y red de tuberías matrices. En este primer paso deben cotizarse los materiales que se utilizarán para montar el equipo de riego, establecer formas de pago y plazos de entrega.

2. Implementación de la infraestructura básica: Esta etapa involucra construir el estanque acumulador, la caseta de control, la instalación de la red eléctrica y la apertura de zanjas.

3. Instalación Cañerías y Centro de Control: El plano del diseño contiene toda la información acerca de las características de las tuberías y fittings a utilizar en el equipo de riego, como por ejemplo, el diámetro, resistencia a la presión y especificaciones de cámara de inspección y machones de anclaje. Estas indicaciones se deben seguir al pie de la letra y cualquier modificación se debe efectuar con previa autorización del proyectista, estableciendo así responsabilidades sobre el funcionamiento.

Cuando termina la etapa de la instalación del sistema, el siguiente paso es tapar las zanjas en forma parcial, dejando a la vista las conexiones entre tuberías para verificar posibles filtraciones. El tapado de la zanja debe hacerse con mucho cuidado para no provocar roturas de tubos.

"Nunca debe probarse el sistema de riego sin tapar parcialmente las tuberías, porque la presión de operación puede provocar un desacople en los conductos. Tampoco se debe probar el sistema tapando completamente las tuberías, ya que no podrían verse las filtraciones si las hubiese".

4. Prueba del Sistema: Una vez que ha finalizado la instalación se hace funcionar el sistema de riego en baja presión, para eliminar así la tierra y piedrecillas de las tuberías y laterales de riego, además esta operación servirá para detectar fugas de agua y posibles fallas en las válvulas de control, de aire o de retorno.

5. Marcha Blanca: Todo proyecto requiere de un período de marcha blanca de dos a tres semanas para detectar posibles fallas que pudiesen ocurrir cuando el sistema trabaja a plena capacidad. Cuando se cumple con este período recién puede recepcionarse la obra.

Una vez terminado el trabajo, el proyectista debe entregar al agricultor la documentación necesaria que respalde la obra efectuada, como un plano de proyecto y una memoria técnica de la instalación, donde se entreguen por escrito las instrucciones necesarias para operar el sistema y los certificados de garantía de los equipos.

Igualmente todo proyecto debe considerar al menos seis meses de garantía, respaldada por el instalador y por el proveedor del material de trabajo.

Es importante señalar que la operación y mantención del sistema se hace de acuerdo a las recomendaciones del proyectista y de los fabricantes de los elementos que se van a utilizar, para asegurar un funcionamiento óptimo del equipo, prolongar su vida útil y hacer válida la garantía en caso que fuese necesario.

### **Recomendaciones Generales**

1. Chequear permanentemente el sistema para verificar su buen funcionamiento.

2. Limpiar en forma periódica el equipo de riego para asegurar una buena mantención y así prolongar la vida útil del sistema.
3. En caso de falla o desperfecto en una parte o en la totalidad del sistema, es conveniente consultar a un técnico especializado.

#### **4.1.1 COSTO DE LA INSTALACION**

Uno de los antecedentes importantes a saber del sistema de riego es su costo, el cual puede ser abordado por diferentes vías financieras.

El costo depende fundamentalmente de las siguientes variables:

- Tamaño del equipo.
- Grado de automatización.
- Tipo de cultivo (frutales, hortalizas, praderas).
- Tipo de fabricación (industrial o artesanal).
- Materiales utilizados (cinta o gotero).

No obstante lo anterior, los valores pueden fluctuar aproximadamente entre los US\$ 2.000 por hectárea en el caso de goteo (frutales) y \$ 4.000 por hectárea en el caso de utilizar cintas (hortalizas).

A continuación se entrega en el siguiente cuadro los costos de implementación de un sistema de riego tecnificado para 6 hectáreas de algodón. A grandes rasgos, el presupuesto detallado que se presenta incluye todos los ítem con los que el agricultor se encuentra al momento de implementar un sistema de riego tecnificado.

Cuadro 4-1: Presupuesto de Instalaciones y Equipamiento para el riego por goteo de 6 hectáreas de algodón en nuevos soles

**PROYECTO: REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS CON SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO**

**OBRA: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO DE 6 Ha.**

**UBICAC:** San Vicente de Cañete - UNIPAMPA - Zona 1      Fecha: Febrero 2007

**PRESUPUESTO POR ADMINISTRACIÓN DIRECTA**

Item	Material	Und	Cant.	P.U.	Parcial	TOTAL
<b>1.00</b>	<b>Obras de seguridad</b>					<b>13,846.0</b>
1.01	Cerco Perimétrico de púas	mi	1,300.0	10.4	13,546.0	
1.02	Carteles informativos	glb	1.0	300.0	300.0	
<b>2.00</b>	<b>Reservorio de tierra 20.3x20.3x3m. Talud 1.5:1</b>					<b>12,763.0</b>
2.01	Excavación	m3	580.0	4.7	2,712.5	
2.02	Relleno compactado	m3	140.0	7.8	1,092.7	
2.03	Geomembrana HOPE (1 MM)	m2	630.0	13.2	8,291.7	
2.04	Zanja de anclaje	mi	90.0	7.4	666.0	
<b>3.00</b>	<b>Cabezal de riego</b>					<b>9,262.5</b>
3.01	Caseta prefabricada 3x3 m	glb	1.0	3,000.0	3,000.0	
3.02	Bomba eléctrica centrifuga 10hp	und	1.0	3,250.0	3,250.0	
3.03	Filtro de arena	und	2.0	712.5	1,425.0	
3.04	Filtro de mallas	und	1.0	575.0	575.0	
3.05	Fertilizador	und	2.0	100.0	200.0	
3.06	Fitting y succión	glb	1.0	812.5	812.5	
<b>4.00</b>	<b>Red de conducción y distribución</b>					<b>77,507.3</b>
4.01	Tubería primaria PVe es 06"	mi	456.0	51.5	23,465.8	
4.02	Tubería secundaria PVe es 04"	mi	268.0	23.6	6,311.4	
4.03	Tubería secundaria PVC es 03"	mi	201.0	19.0	3,819.0	
<b>4.04</b>	Múltiple Tubería PVe C5 04"	mi	369.6	20.1	7,414.2	
4.05	Múltiple Tubería PVe es 03"	mi	277.2	16.9	4,690.2	
4.06	Múltiple Tubería PVe es 02"	mi	277.2	11.8	3,276.5	
4.07	Cinta de riego P.E 12 mm	M	61,560.0	0.42	25,855.2	
4.08	Válvulas	und	6.0	250.0	1,500.0	
4.09	Prueba hidráulica	glb	1.0	1,175.0	1,175.0	
					<b>Costo Directo 113,378.7</b>	
					<b>Gastos Generales (10%) 11,337.9</b>	
					<b>Asistencia Técnica (7%) 7,936.5</b>	
					<b>Costo Total (S/) 132,653.1</b>	
					Incl. IGV	

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 PROCESOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### 4.2.1 Operación

La operación del sistema esta íntimamente ligada con los requerimientos hídricos del cultivo. De acuerdo con la demanda bruta de agua en cada etapa fenológica del cultivo se determinaran los tiempos de riego para cada uno de los módulos.

Dependiendo de la configuración de la red de riego se operarán los módulos de riego en forma simultánea o a uno por vez, abriendo o cerrando las válvulas de control al inicio de cada módulo. La operación de las llaves se hará con la bomba apagada.

Es recomendable que con la ayuda de un manómetro, se verifique en diferentes puntos del sistema la presión existente y con un vaso graduado medir el caudal de los goteros, para verificar la uniformidad del riego.

### 4.2.2 Mantenimiento

La correcta mantención de los equipos de riego es fundamental para la duración de los elementos de riego que componen el sistema. Una buena mantención debe considerar observaciones periódicas del sistema, de manera de detectar con anticipación cualquier problema y tratarlo en forma oportuna. Al menos una vez al año se debe revisar todo el equipo y realizar una limpieza a fondo de filtros, tuberías y emisores.

Para lo anterior, se debe tener las siguientes consideraciones:

**Equipo Impulsor.** Se debe verificar que la presión generada sea la que se indica en el catálogo; de no ser así y la presión es inferior, implicaría un problema en el rodete de la bomba, el cual habría que revisar y proceder a su reemplazo si fuese necesario. En el sistema de transmisión de la motobomba, se debe verificar el correcto funcionamiento de rodamientos. De existir ruidos extraños se debe proceder al cambio de ellos.

**Equipos de filtraje.** Estos se deben destapar al menos una vez al año, revisando el desgaste interno de las paredes y proceder a su limpieza y pintado con pinturas epóxicas.

La arena se debe revisar y comprobar si aún los granos presentan aristas. Si sus cantos se encuentran redondeados, se debe proceder a reemplazar la arena por otra nueva.

Revisar permanentemente los manómetros situados antes y después de filtros, los que deben dar una diferencia de 1 a 3 m.c.a. De ser mayor, indica que los filtros están taponados (sucios), debiéndose realizar un cuidadoso y profundo retrolavado.

**Válvulas.** Las válvulas eléctricas se deben revisar periódicamente, limpiando sus orificios y membranas.

**Tuberías y goteros.** La limpieza interna de las tuberías se realiza inyectando ácido sulfúrico o ácido fosfórico en soluciones al 10%. Se debe lograr una concentración del ácido dentro del sistema de 1 a 2%. Ello se puede corroborar midiendo el pH del agua a salida de los goteros, utilizando un papel especial (papel pH), el que debe indicar niveles de 2 a 3. Esta limpieza debe ser hecha a baja presión y la solución mantenerla durante 12 horas en el sistema.

Posteriormente se realizan lavados a presiones elevadas, lo que se logra al parcializar los sectores de riego con la bomba a plena capacidad, dejando sólo gran parte de caudal por un menor número de tubería o laterales.

Esta misma operación se debe hacer al realizar lavados con hipoclorito de sodio para eliminar algas del sistema. Aquí, las cantidades deben estar en el rango de 0,5 y 1,2 litros por hectárea. Su concentración debe ser del 10%. Con esto se logra la limpieza, tanto en tuberías como en goteros.

#### **4.2.3 Evaluación del funcionamiento del sistema**

Siempre es necesario comprobar, si realmente se está cumpliendo con lo proyectado, en cuanto a los caudales de agua que entregan los emisores y las presiones de operación.



Para lo anterior, se deben hacer evaluaciones al menos dos veces al año de aforo de emisores. Esto consiste en determinar cuantos litros por hora está entregando un gotero, microjet, cinta, etc. Estos valores deben coincidir con lo indicado en los catálogos de los emisores.

Si existe problemas en relación a los caudales, esto se puede deber a obturaciones de ellos o a una diferencia de presión del sistema. Para pesquisar esto último, se recomienda revisar los manómetros de filtros. Comprobar la presión de operación en el sistema, a través del recorrido de las tuberías, hasta llegar a laterales. Ello debe coincidir con las presiones indicadas en el plano de diseño del riego.

Siguiendo todas estas indicaciones, se obtendrá el mayor beneficio del método de riego y se podrá garantizar una larga vida útil del sistema, siendo lo normal entre 8 y 10 años, para la mayoría de sus elementos.

#### 4.2.4 Costo de operación y mantenimiento

Para el área a regar en UNIPAMPA se han asignado el siguiente personal y gastos fijos mínimos para el funcionamiento del sistema, de acuerdo a la frecuencia de riego y duraciones del mismo según los requerimientos del cultivo. El cálculo del consumo de energía eléctrica de la bomba del cabezal de riego se encuentra en el anexo

Cuadro 4-2: Operación y Mantenimiento. Sistema de riego por goteo de 6ha.  
En nuevos soles

Item	Descripción	Und.	Cant.	P.U (S/.)	Total
<b>1.0</b>	<b>Personal para operación y mantenimiento</b>				<b>8,000</b>
1.1	Encargado operación (1 personas 2 días/semana)	mes	8	640	5,120
1.2	Encargado mantenimiento general (1 dimes)	Gbl	1	2,880	2,880
<b>2.0</b>	<b>Gastos fijos</b>				<b>3,090</b>
2.1	Energía eléctrica para cabezal	año	1	1,080	1,080
2.2	Teléfono	mes	12	60	720
2.3	Agua	mes	12	45	540
2.4	Herramientas y utensilios, otros	Gbl	1	750	750
				<b>TOTAL</b>	<b>11,090</b>

## CONCLUSIONES

- Con el riego tecnificado la eficiencia del riego se mejora de 35 - 60% (conducción y aplicación) en sistemas de riego superficial por gravedad, a 80 a 90% con el sistema de riego tecnificado de alta frecuencia, resultando en un mayor aprovechamiento del recurso.
- Con riegos de alta frecuencia puede mantenerse el contenido de agua en la zona radicular en suelos arenosos con baja retención de líquidos, haciendo viable el riego en zonas como UNIPAMPA.
- Para las características climáticas y de suelo de UNIPAMPA y una eficiencia de riego del 85% se halló el siguiente caudal continuo de riego: 0.56 l/s/hectárea. La población inicial de UNIPAMPA es de 1968 hab. y producen un caudal que se obtiene de la planta de tratamiento de 4 l/s. Esto significa que cada 1000 habitantes pueden regarse 3 ha. empleando sistemas de riego tecnificado.
- El método más adecuado para este tipo de riego es el de goteo, ya que no aplica el agua sobre hojas y frutos (como es el caso del riego por aspersión), que son los generalmente consumidos, sin riesgo de poder contaminarlos.
- Los requerimientos de la calidad del agua para riego no son los mismos para todos los cultivos. De acuerdo al Reglamento General de Aguas, no podrá regarse con aguas residuales (tratadas o no) vegetales de tallo corto o rastreros que se consuman crudos. En otros cultivos con riesgo de contaminación deberá transcurrir un período de 20 días como mínimo entre el último riego y la cosecha, variando los tratamientos desde nulo, a primario y secundario.
- En el cálculo hidráulico, se evalúa el diseño del sistema con el coeficiente de uniformidad. Este valor define las diferencias máximas entre el caudal mínimo y medio y a su vez las presiones máximas y mínimas del sistema. La pendiente sobre la cual se despliega la red de conducción y distribución favorece a igualar la línea piezométrica al nivel topográfico, manteniendo uniforme la presión.
- El sistema de riego se basa en una red ramificada abierta, donde puede estimarse las descargas de los emisores ( $Q_{med}$ ), y los caudales de cada tramo de las tuberías por continuidad; los diámetros comerciales se asignan cumpliendo con el rango de velocidades (0.6 - 3.0 m/s) y el

rango de presiones según las pérdidas de carga (continuas y localizadas) por fricción y cotas topográficas.

- Cuando los tiempos entre riego y riego son mas cortos, como es el caso de los sistemas de riego tecnificado, hay un importante ahorro en el costo del reservorio de riego, al reducirse el volumen de almacenamiento.
- Los costos de la instalación, operación y mantenimiento de 6 hectáreas de cultivo de algodón implementadas con sistema de riegos tecnificado son los siguientes:
  - Instalación: S/. 132,653.1
  - Operación y Mantenimiento: S/. 13,01 00
- El análisis económico financiero (Tasa de descuento = 14%, VANF = S/. 7,154.4, TIRF = 21 %) muestra la viabilidad de la aplicación del sistema de riego por goteo, sin embargo los resultados son positivos siempre y cuando se cuente con financiamiento (se empleo un préstamo del 50% del capital inicial, con un interés anual del 4%).

## RECOMENDACIONES

Para el presente proyecto se consideró un cultivo industrial como medio de introducción a la reutilización de las aguas residuales tratadas, sin embargo el costo de implementación para el algodón es alto. Se recomienda para cultivos posteriores hacer un análisis económico considerando cultivos con un marco de plantación más amplio como los frutales, que requieren menos infraestructura y una inversión inicial menor.

La reutilización del agua residual enfrenta barreras por parte de la población, la aceptación para su uso dependerá de la educación de la población, se recomienda la difusión de:

1. la definición del agua regenerada,
2. la demostración del nivel de la calidad del agua regenerada,
3. la discusión de las ventajas del agua regenerada,
4. la discusión de las ventajas ambientales por el uso de agua regenerada, y
5. las medidas de seguridad en el uso del agua regenerada.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bacan Urbana, Gabriel. **"Evaluación de Proyectos"**. México, 1999, libro
2. Eyzaguirre Tejada, O.A. **"Proyecto de desarrollo agrícola en el Fundo de "La Ciudad de los Niños de la Inmaculada" usando las aguas servidas en San Juan de Miraflores."**, tesis
3. Franco Robles, R.M.S. **"Proyecto de riego con aguas servidas tratadas en la zona agropecuaria de Villa El Salvador"**. 1991, tesis
4. Fuentes Yague, José Luis. **"Técnicas de riego"**. Madrid. 2003, libro
5. Hoek, W. van der. **"Urban wastewater: a valuable resource for agriculture; a case study from Haroonabad, Pakistan"**. Colombo. 2002, seriado
6. Huaman Garibay, M. **"Pequeñas empresas agrícolas con riego tecnificado: una alternativa hecha realidad.- La aplicación del CTTU en el valle de Moche"**. 1997, revista Agua y Riego (Perú)
7. Huaman Garibay, M. **"Viabilidad del riego por goteo en la pequeña agricultura del valle de lea"**. 1997, revista Agua y Riego (Perú)
8. Jarabo Friedrich, Francisco. **"Fundamentos de tecnología ambiental"**, Madrid 2000, *libro*
9. Larrea, E. **"La reutilización de aguas servidas"**. 1994, revista Agua y Riego (Perú)
10. López Urbano, M.R.; Cueto Saldivar, M.M.; Gallegos García, R. **Propuesta de un programa de gestión ambiental para la planta de tratamiento de aguas residuales UNITRAR**. 2004, tesis
11. Metcalf & Hedí. **"Ingeniería de aguas residuales"**. Madrid, 1995, libro
12. Nacarino Monzón, C.E. **"Contribución al estudio para el aprovechamiento racional de las aguas servidas tratadas con fines agrícolas"**. 1978, tesis
13. Palacios Flores, S. **"Proyecto hidráulico y ecológico para el riego y conservación de parques y jardines de la Costa Verde"**. 1996, tesis
14. Pizarro Cabello, Fernando. **"Riego localizado de alta frecuencia [RLAF], goteo, microaspersión, exudación"**. 1990, libro
15. Universidad Agraria. Opto. de Planeamiento y Obras Rurales. **"Eliminación de las aguas negras en el medio rural"**. 1967, seriado

# ANEXO 1

## DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO

## ANEXO 1: DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO

### 1. Cálculo agronómico:

Para el diseño de los componentes partimos de la selección del cultivo del capítulo 1, para la siembra del algodón Tangüis, tomando los siguientes datos para el cálculo agronómico, para la época de máxima demanda.

Cuadro A-1: Cálculo Agronómico

<b>CÁLCULO AGRONÓMICO-CULTIVO: ALGODÓN -SIST. RIEGO: CINTAS</b>			
<b>DATOS</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Evaporación de bandeja mensual máxima		132.1	mm/mes
Evaporación de bandeja diaria máxima	Eb	4.4	mm/día
Coefficiente de bandeja	Kb	0.8	
Coefficiente del cultivo	Kc	1.3	
Coefficiente del suelo	Ks	1.1	
Área a regar por hectárea	A1	10000.0	m <sup>2</sup>
Separación entre surcos	Ss	0.80	m
Separación ente emisores	Se	0.60	m
Porcentaje de cubrimiento	Pe	80.0	%
Eficiencia aplicación	Efa	0.85	
Caudal promedio del emisor	qe	4.00	l/h
Jornada de trabajo riego	Jt	6.00	horas
Caudal disponible de aguas tratadas	Qd	4.01	l/s
<b>CÁLCULOS</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Unidades</b>
Evapotranspiración	$Et = Eb \cdot Kb \cdot Kc \cdot Ks$	5.04	mm/día
Demanda bruta	$Db = Et / Efa$	5.93	mm/día
	$Ddh =$		
Demanda de agua diario por hectárea	$Db \cdot A1 \cdot Pc / 1000$	47.41	m <sup>3</sup> /día/ha
Caudal continuo necesario por hectárea	$Qh = Ddh / 86.4$	0.55	l/s
Área de riego máxima	$Arm = Qd / Qh$	7.31	ha
<b>N° de módulos de 1 ha a regar</b>	<b>Ar = 80% Arm</b>	<b>6.00</b>	
<b># módulos a regar por día</b>	<b>Nm</b>	<b>3.00</b>	
Duración del riego por módulo	$Drm = Jt / Nm$	2.00	hora
Área que riega cada emisor	$Ae = Ss \cdot Se$	0.48	m <sup>2</sup>
Demanda de agua diario por emisor	$Dde = Db \cdot Ae \cdot Pc$	2.28	l/día/emisor
Vol. de agua por emisor en cada intervalo	$Ve = qe \cdot Drm$	8.00	l
Intervalo entre riegos teórico	$Ir = Ve / Dde$	3.52	días
<b>N° de riegos por semana</b>		2.00	
<b>Intervalo de riego 1</b>	<b>11</b>	<b>3.00</b>	<b>días</b>
<b>Intervalo de riego 2</b>	<b>12</b>	<b>4.00</b>	<b>días</b>
<b>Duración del riego 1 por módulo</b>	<b>Dr1 = Dde.11/qe</b>	<b>1.71</b>	<b>horas</b>
<b>Duración del riego 2 por módulo</b>	<b>Dr2 = Dde.12/qe</b>	<b>2.28</b>	<b>horas</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 2 Cálculo hidráulico:

Seguidamente se realizarán los cálculos hidráulicos para dimensionar la red de riego.

Cuadro A-2: Cálculos previos para el cálculo hidráulico de la red abierta

<b>CÁLCULO HIDRÁULICO - CULTIVO: ALGODÓN - 51ST. RIEGO: CINTAS</b>			
	Símbolo	Cant.	Undidades
<b>Cálculo del caudal por módulo</b>			
N° de módulos de riego	Nm	6	
Área de cada módulo de riego	Am	10000	m <sup>2</sup>
Separación entre laterales de riego	Ss	0.8	m
Separación entre emisores de riego	Se	0.6	m
N° de emisores de riego por módulo	Nem = Am/(Ss.Se)	20833	
Caudal promedio del emisor	qe	4	l/h
<b>Caudal total por módulo de riego</b>	Qm = Nem.qe/3600	<b>23.1</b>	<b>l/s</b>
<b>Predimensionamiento de la red primaria</b>			
Velocidad ideal	V	1	m/s
Área de la tubería de conducción	A = QmN*10	231.5	cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro de la tubería de conducción</b>	d = (4*A/3.14) <sup>0.5</sup>	<b>17.2</b>	<b>cm</b>
<b>Presión mínima del sistema</b>			
Emisor: Manguera de Doble pared Bi-Wall			
Diámetro	d	12.00	mm
Exponente de descarga	x	0.50	
Presión de trabajo	hm	10.00	m.c.a
Coefficiente de Uniformidad	CU	0.75	
Coefficiente de variación de fabricación	CV	0.05	
Número de emisores por planta	ne	0.30	
<b>Presión mínima del sistema</b>	hmp <math>\leftarrow</math>	<b>7.20</b>	<b>m.c.a</b>
<b>Datos para el cálculo de los factores de fricción</b>			
Densidad (20° C)	p	979.8	(kg/m <sup>3</sup> )
Viscosidad (20° C)	μ	0.0011	(kg/m.s)
Rugosidad relativa P.V.C y P.E.	Ks	0.0015	(mm)

$$h_{mp} = h_m \times \left[ \frac{C_u}{1 - 1.27 \frac{C_v}{J}} \right]$$

## 3. Dimensionamiento de la red de riego

Con los cálculos hidráulicos previos se procederá al dimensionamiento de la red de riego cumpliendo los parámetros de velocidad y presión mínima del sistema, estableciendo la ruta crítica como el recorrido del emisor más alejado.



**Cu.1dro A-3: Cálculo hidráulico Rut.1 critica - Red Abierta - Sistema de Riego por Goteo**

Presión en el cabezal de riego

Caudal total de bombeo

Línea	ID	Caudal		Perdida de carera				Cota de terr.		Cota ciezan.		RBSión				
		Tran. (1/s)	S da (l/s)	Dám. (cm)	Vel. (mis)	Lorg. (m)	K	Cortinua (m)	Loca (m)	Tcta (m)	Inicia (m)	Fina (m)	Inicia (m)	Fina (m)		
E	1	23.2	0	15	1.31	83.6	0.9	0.793	0.079	0.871	139.3	143.0	159.2	151.3	119.9	15.0
	2	23.2	11.6	15	1.31	423.0	2.9	4.011	0.251	4.264	143.0	143.0	151.3	151.1	15.3	11.1
Se.	3	11.6	0	7.5	2.61	67	0.5	5.077	0.174	5.281	143.0	136.2	151.1	148.8	11.1	12.6
1	4	11.6	1.16	10	1.47	7.7	0.4	0.146	0.441	0.587	136.2	136.1	148.8	148.2	12.6	12.1
	5	10.4	1.16	10	1.32	7.7	0.4	0.121	0.357	0.478	136.1	136.0	148.2	147.7	12.1	11.1
	6	9.2	1.16	10	1.18	7.7	0.4	0.077	0.282	0.300	136.0	136.8	147.7	147.4	11.8	11.1
	7	8.1	1.16	10	1.03	7.7	0.4	0.077	0.216	0.293	135.8	136.7	147.4	147.1	11.5	11.1
	8	6.9	1.16	7.5	1.57	7.7	0.4	0.233	0.502	0.734	135.7	136.6	147.1	146.3	11.3	10.1
	9	5.78	1.16	7.5	1.31	7.7	0.4	0.113	0.348	0.516	135.6	136.5	146.3	145.8	10.7	10.1
	10	4.62	1.16	7.5	1.05	7.7	0.4	0.113	0.223	0.336	135.5	136.4	145.8	145.5	10.3	10.1
	11	3.47	1.16	5	1.76	7.7	0.4	0.470	0.636	1.105	135.4	136.2	145.5	144.4	10.1	9.1
	12	2.31	1.16	5	1.18	7.7	0.4	0.221	0.282	0.510	135.2	136.1	144.4	143.9	9.1	8.1
	13	1.16	1.16	5	0.59	7.7	0.4	0.067	0.071	0.137	135.1	136.0	143.9	143.7	8.7	8.1
	2	14	0.11	0.011	1.2	0.77	6.0	4.0	0.781	0.196	0.957	135.0	134.7	143.7	142.8	8.7
15		0.100	0.011	1.2	0.88	6.0	4.0	0.633	0.159	0.732	134.7	134.3	142.8	142.0	8.1	7.1
16		0.089	0.011	1.2	0.79	6.0	4.0	0.516	0.176	0.642	134.3	134.0	142.0	141.3	7.7	7.1
17		0.078	0.011	1.2	0.69	6.0	4.0	0.400	0.096	0.506	134.0	133.6	141.3	140.8	7.4	7.1
18		0.067	0.011	1.2	0.59	6.0	4.0	0.314	0.071	0.381	133.6	133.3	140.8	140.4	7.2	7.1
19		0.056	0.011	1.2	0.49	6.0	4.0	0.229	0.049	0.278	133.3	132.9	140.4	140.2	7.2	7.1
20		0.044	0.011	1.2	0.39	6.0	4.0	0.177	0.031	0.188	132.9	132.6	140.2	140.0	7.3	7.4
21		0.033	0.011	1.2	0.29	6.0	4.0	0.096	0.018	0.113	132.6	132.2	140.0	139.9	7.4	7.7
22		0.022	0.011	1.2	0.20	6.0	4.0	0.048	0.008	0.066	132.2	131.9	139.9	139.8	7.7	8.0
23		0.011	0.011	1.2	0.10	6.0	4.0	0.015	0.002	0.017	131.9	131.5	139.8	139.8	8.0	8.1

Caudal en el cabezal de bombeo

Fuente: Elaboración propia

Presión mínima (C.U= 0.75)

#### 4. Reservorio de riego

Para el dimensionamiento del reservorio de riego, se empleará la diferencia entre los volúmenes acumulados que ingresan al reservorio y los que salen, según el cronograma de aplicación del agua.

Cuadro A-4. Cronograma de aplicación del agua para la época de máxima demanda

	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
Módulos a regar	1-2-3	4-5-6		1-2-3	4-5-6		
Tiempo/módulo	1hr 40m	1hr 40m		2r.r 20m	2hr 20m		

Cuadro A-5. Estudio de volúmenes en el reservorio de riego

	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
V. Empleado	415.8	415.8		582.12	582.12		
V. Acum. Empleado	415.8	831.6	831.6	1413.72	1995.84	1995.84	1995.84
V. que ingresa	570.24	285.12	285.12	285.12	285.12	285.12	285.12
V. Acum. Empleado	570.24	855.36	1140.48	1425.60	1710.72	1995.84	2280.96
Volumen Almacenado	<b>570.24</b>	439.56	308.88	<b>594.00</b>	297.00	<b>0.00</b>	285.12

- Tiempo/módulo: Duración máxima del riego para cada módulo.
- V. Empleado: Cantidad de agua que se usa diariamente para regar 3 módulos de 1 ha. para el intervalo entre riegos de 3 a 4 días
- V. que ingresa: Volumen de agua proveniente de la planta de tratamiento que corresponde a un caudal continuo de 3.3 litros/seg.

Dimensionamiento:

Volumen Inicial:	570.24 m <sup>3</sup>	<b>Dimensiones</b>	
Volumen mínimo	594.00 m <sup>3</sup>	Profundidad	3.0 m
Capacidad del reservorio	700.00 m <sup>3</sup>	Borde Libre	0.3 m
Talud	1.5:1	Largo de la base	10.5 m



Figura 3- Reservorio de tierra para riego

## 5. Cabezal de riego

La presión máxima que se requiere para el adecuado funcionamiento del sistema de riego se obtiene del cálculo hidráulico de la ruta crítica, donde se obtuvo una presión en el primer punto de la tubería de 19.9 m.c.a. Para determinar la presión que debe proporcionar la bomba hay que incluir las pérdidas de carga que se producen en el mismo cabezal de riego, incluyendo la disminución en la toma, filtros y por acumulación de sedimentos.

Presión en el primer punto de la red:	19.9 m.c.a.
Perdida de carga en accesorios	0.5 m.c.a
Perdida de carga en filtros	3.0 m.c.a.
Perdida de carga por sedimentos	2.0 m.c.a.
Presión Total	25.4 m.c.a.

### Potencia de la bomba

La potencia de la bomba en Hp se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Hp = \frac{Q \times H}{76 \times r_j}$$

Donde:

HP = Potencia en Hp	<b>Hp = 10.0</b>
Q = Caudal en litros por segundo	Q = 23.2 l/s (Anexo cale hidra)
H = altura de elevación del agua en metros	H = 25.4 m (Anexo Cal hidra)
r <sub>j</sub> = Eficiencia de la bomba	r <sub>j</sub> = 85%

### Consumo de energía

El consumo en Kw.h estará dado por el valor de la potencia en Kw multiplicado por el número de horas en que la bomba esta prendida.

$$Kw = \frac{Q \times H}{102 \times r_j}$$

Tomando los datos del Anexo Cálculo Agronómico consideraremos el caudal continuo para hallar el consumo en Kw.h, tomando en cuenta las variaciones de demandas hídricas, y las máximas duraciones de cada etapa.

Cuadro A-6. Consumo de energía eléctrica en las diversas etapas fenológicas

Etapa Fenológica	Demanda	Duración		Potencia	Consumo
	(l/s)	(días)	(horas)	(Kw)	(Kw.h)
Emergencia	0.07	8	192	0.016	3.0
Tercera hoja verdadera	0.117	25	600	0.026	15.6
Primeros botones florales	0.245	25	600	0.055	32.7
Floración	0.367	15	360	0.082	29.4
Formación de bellotas	0.549	25	600	0.122	73.3
Abertura de bellotas	0.428	50	1200	0.095	114.3
Maduración	0.206	140	3360	0.046	154.1
<b>Total Anual/ ha</b>					<b>422.5</b>

Fuente: Elaboración Propia

Con un tarifa de 0.40 S/ / Kw.h, el consumo anual de luz por bombeo será de S/.170 por hectárea.



Figura A-1: Cabezal de Riego: bomba eléctrica, filtros de arena y filtro de mallas.

# ANEX02

## ANÁLISIS ECONÓMICO

## ANEXO 2 Análisis económico

Los agricultores adoptarán tecnologías de riego que ahorren agua si tienen incentivos, siendo uno de los más importantes el aumento del precio del agua de riego. Además estas tecnologías que ahorran agua, tienen la ventaja adicional de incrementar los rendimientos de los cultivos y reducir la salinización de los suelos. Además, como evita el contacto del agua con las hojas, pueden usarse aguas salobres para regar cultivos moderadamente tolerantes a la salinidad.

Criterios Económicos: Permiten realizar un análisis de rentabilidad de las alternativas técnicamente viables. Para la realización del estudio económico se debe considerar los siguientes elementos:

- Capacidad de Inversión
- Análisis de Costos
  - Inversión
  - Costo Fijo Anual
  - Costo Operación Anual
- Estimación del Aumento de Rendimiento
- Distintos Precios de Producto (Análisis de Sensibilidad)

El análisis económico puede incluir el cálculo del valor actual neto (**VAN**); la tasa interna de retorno (TIR) y la relación VAN/Inversión. De acuerdo a estos parámetros se priorizan las alternativas.

A continuación se presenta un análisis económico financiero para el riego de 6 ha de algodón con sistema de riego por goteo en UNIPAMPA, se ha considerado para el análisis un financiamiento del 50% de la inversión inicial, con un *interés* anual del 4%, y una tasa de descuento del 14%. Los costos incluyen la instalación, operación y mantenimiento (indicados en el capítulo 4) más un fondo para el mantenimiento y reemplazo de componentes del 2% anual del total de la inversión. Con un tiempo para la instalación y siembra de 4 meses, la primera cosecha (luego de 8 meses) podrá hacerse efectiva el primer año.

Los costos para la producción del cultivo de algodón por hectárea se muestran a continuación

Cuadro A-1. Costos de Producción del Algodón por hectárea.  
En Nuevos Soles

	Und	Cant	P.U.	Parcial	TOTAL (S/.)
<b>1. Insumos</b>					<b>654.5</b>
Semilla	libra	15	5.5	82.7	82.7
Insecticidas					162.5
Monodrín	litro	1	24.8	24.8	
Dimetop	litro	0.4	22.0	8.8	
Verlac	litro	0.25	285.0	71.3	
Cypermetrina	litro	1	28.6	28.6	
Endopac. polilla	litro	1	29.1	29.1	
Herbicidas					98.8
Glifosato	litro	2	11.4	22.8	
Alapac	litro	2	22.8	45.6	
Igran	litro	1	30.4	30.4	
Fertilizantes					310.5
Urea	Sac. 50kg	2	41.2	82.5	
Fosfato Diamónico. DAP	Sac. 50kg	2	51.3	102.6	
Muriato de Potasio	Sac. 50kg	2	32.3	64.6	
Foliales	qlb	1	60.8	60.8	
<b>2. Mano de Obra</b>					<b>1490.0</b>
Desbroce. limpieza	jornal	4	15.0	60.0	
Siembra	jornal	8	15.0	120.0	
Raleo	jornal	3	15.0	45.0	
Aplicación fertilizantes	<b>jornal</b>	10	15.0	150.0	
Deshierba	jornal	10	15.0	150.0	
Fumigaciones	jornal	8	15.0	120.0	
Cosecha	quintal	80	10.0	800.0	
Quema V mata	jornal	3	15.0	45.0	
<b>3. Maquinaria</b>					<b>640.0</b>
Arado	h-m	3	240.0	240.0	
Gradeo	h-m	2	160.0	160.0	
Surcado	h-m	3	240.0	240.0	
<b>4. Otros Gastos</b>					<b>300.0</b>
<b>Costo Directo</b>				<b>S/.</b>	<b>3084.5</b>
Asistencia Técnica 10%					<b>308.4</b>
Gastos Administrativos 10%					<b>308.4</b>
<b>Costo Total del Cultivo</b>				<b>S/.</b>	<b>3701.3</b>

Rendimiento esperado: 80 quintales/hectárea

Precio de venta esperado: 126 soles/quintal

Fuente: Ministerio de Agricultura



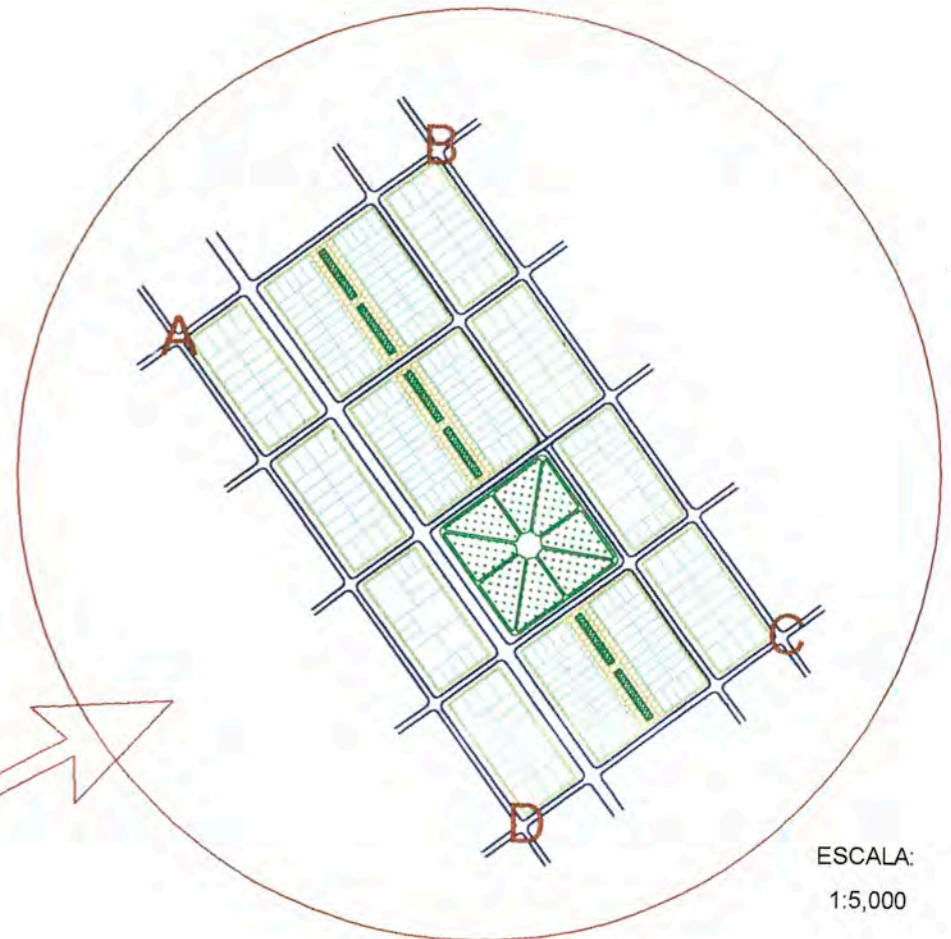
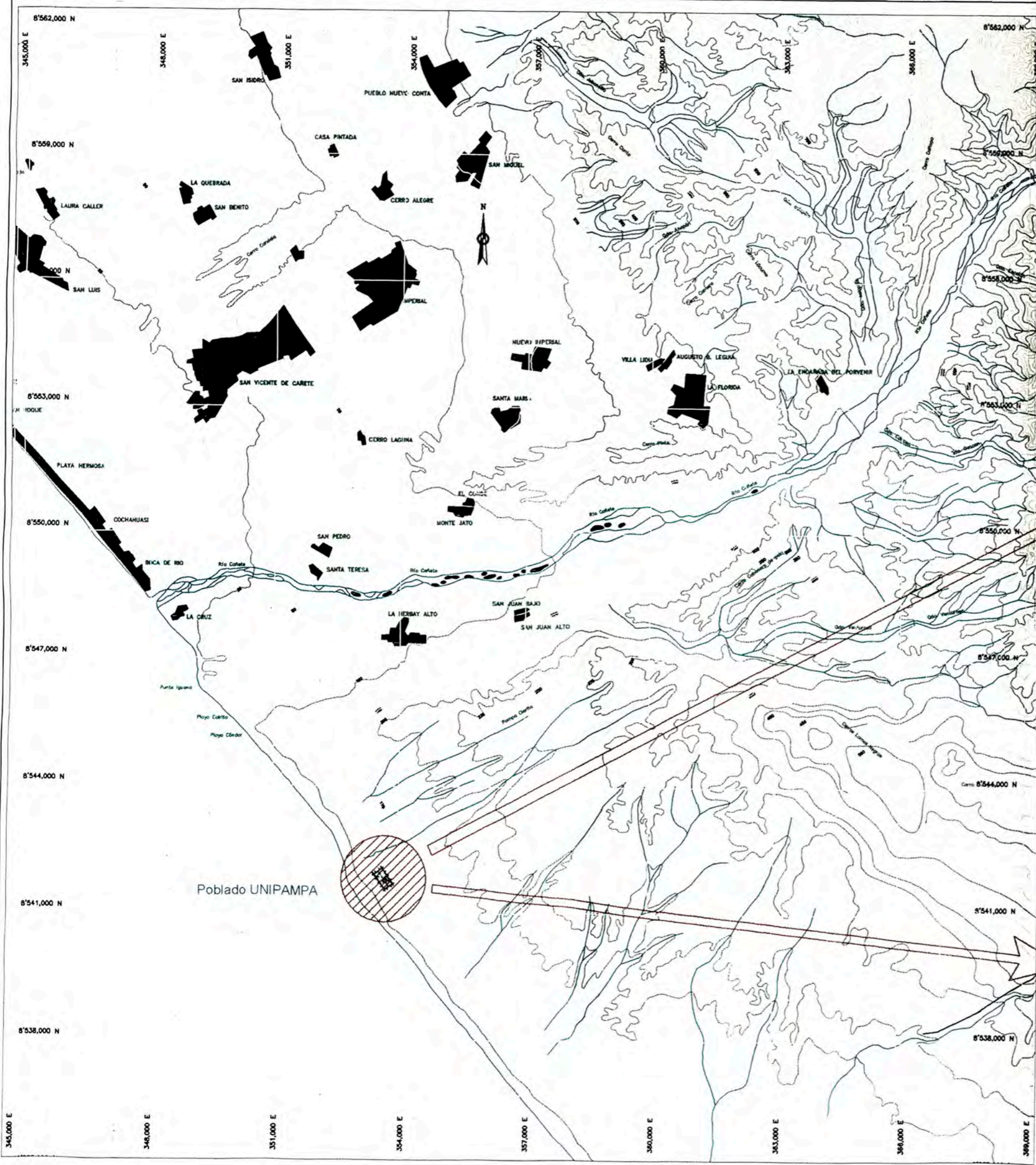


# **ANEXO 3**

## **PLANOS PROYECTO UNIPAMPA:**

**1) DISTRIBUCIÓN GENERAL**

**2) INFRAESTRUCTURA DE SISTEMA DE RIEGO  
TECNIFICADO**

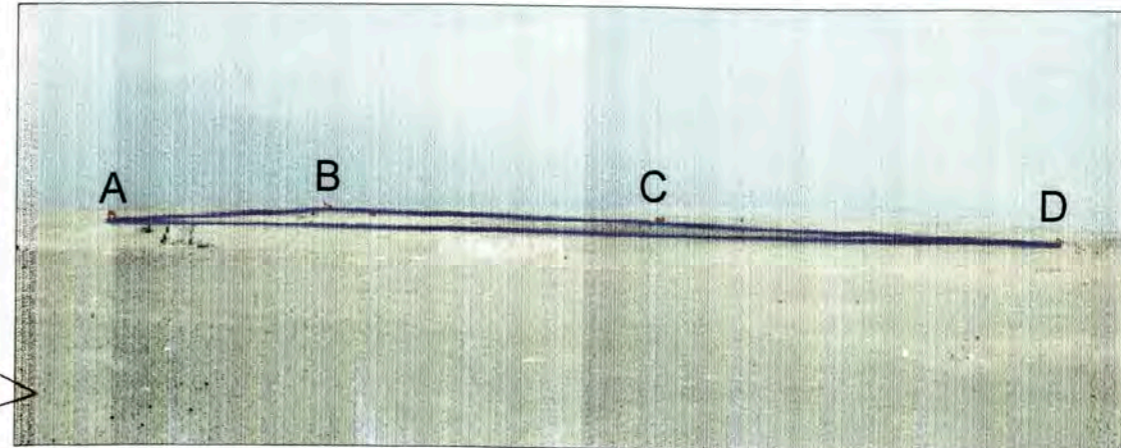


ESCALA:  
1:5,000

Poblado UNIPAMPA

CUADRO DE COORDENADAS

VERTICE	DISTANCIA	NORTE	ESTE
A	0.000	8541929.539	353453.093
B	231.375	8542065.961	353639.971
C	441.625	8541709.594	353898.263
D	231.375	8541572.845	353713.481



VISTA DEL ÁREA DESTINADA PARA EL POBLADO UNIPAMPA DESDE LA CARRETERA PANAMERICANA

**PROYECTO DE SANEAMIENTO UNIPAMPA**

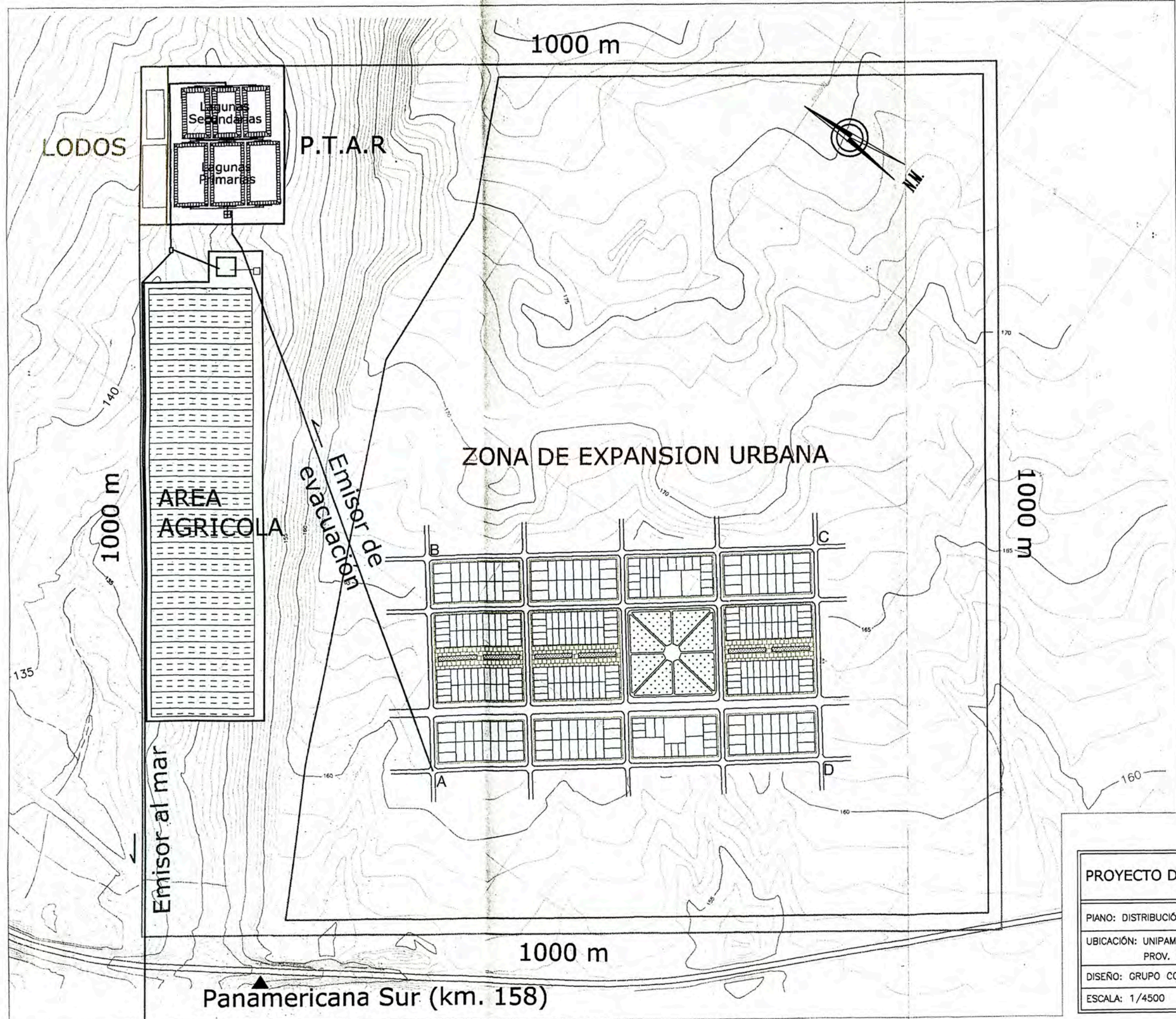
PIANO: UBICACIÓN DEL POBLADO UNIPAMPA

UBICACIÓN: UNIPAMPA - ZONA 1  
PROV. SAN VICENTE DE CAÑETE

DISEÑO: BACH. RAÚL ENCARNACIÓN MELO

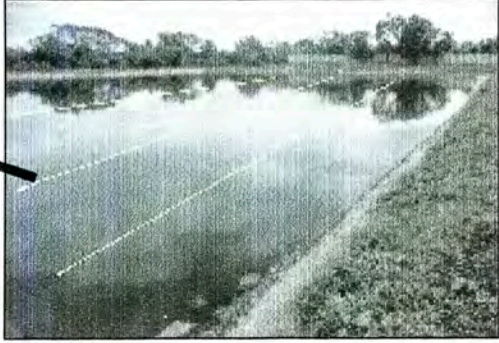
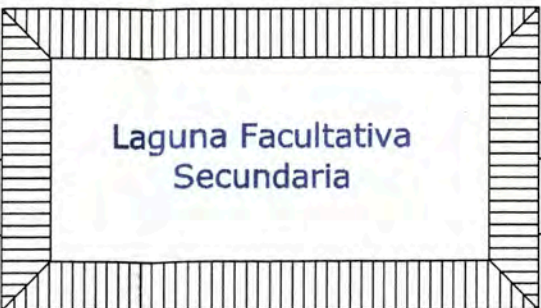
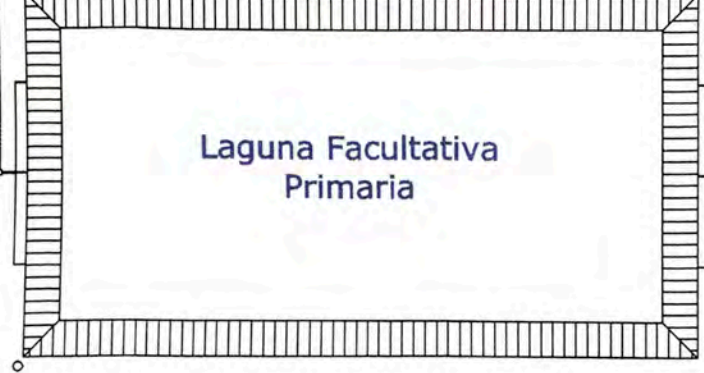
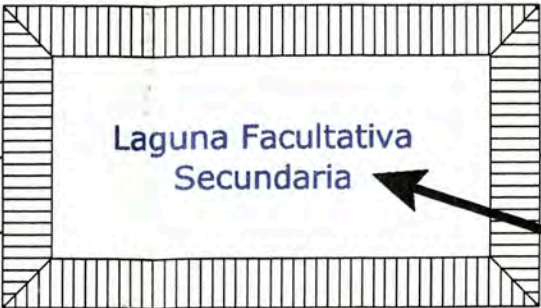
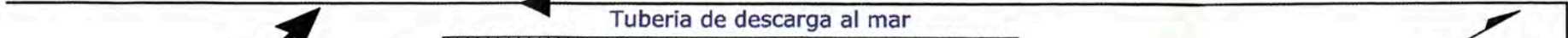
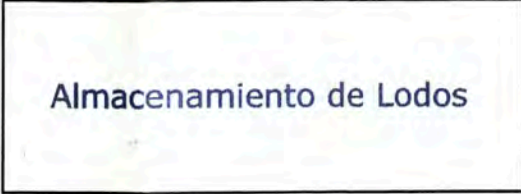
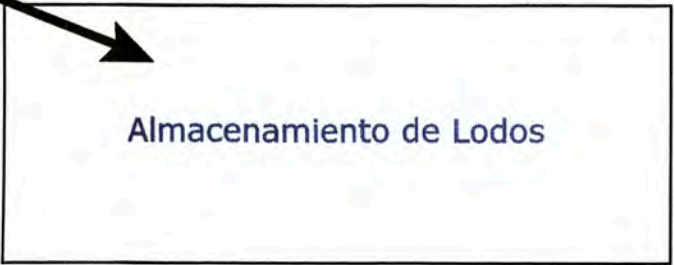
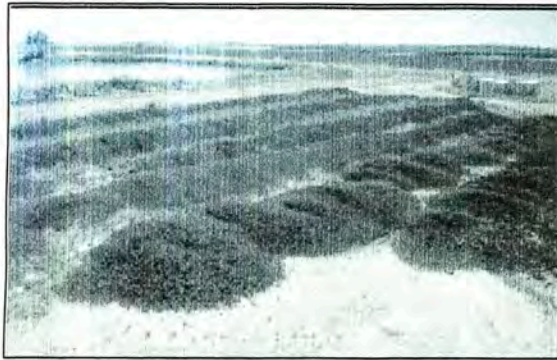
ESCALA: 1/100 000    FECHA: ABRIL 2007    N° plano: 1/4

LAMINA:  
**U-1**

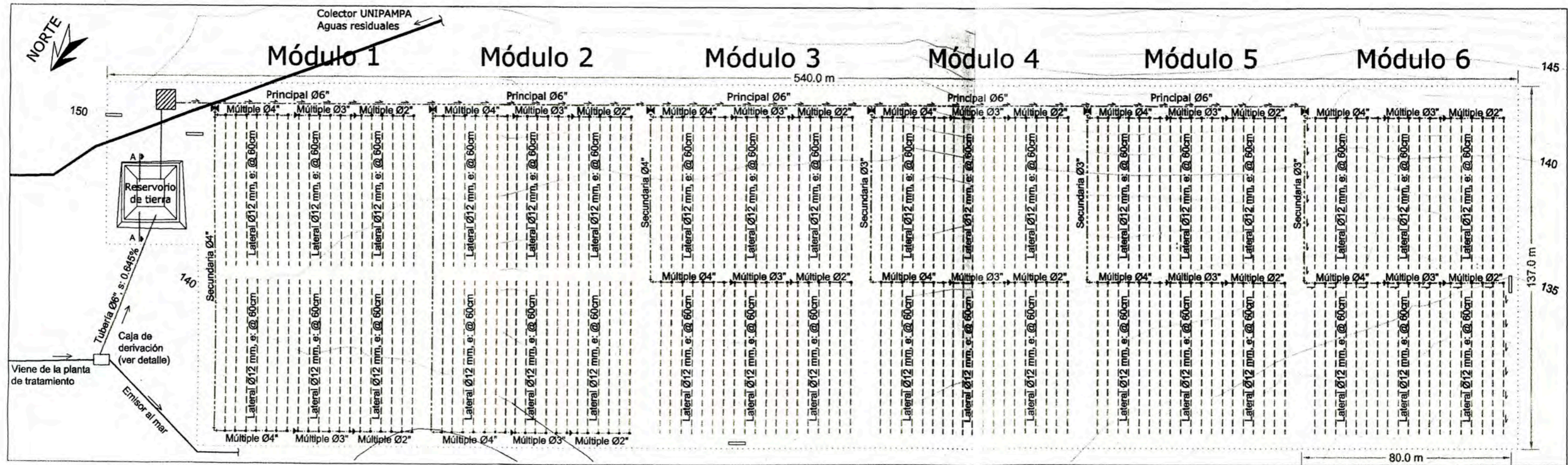


PROYECTO DE SANEAMIENTO UNIPAMPA		
PIANO: DISTRIBUCIÓN GENERAL		
UBICACIÓN: UNIPAMPA - ZONA 1 PROV. SAN VICENTE DE CAÑETE		LAMINA: DG-1
DISEÑO: GRUPO COPROSA		
ESCALA: 1/4500	FECHA: ABRIL 2007	N° Plano: 2/4

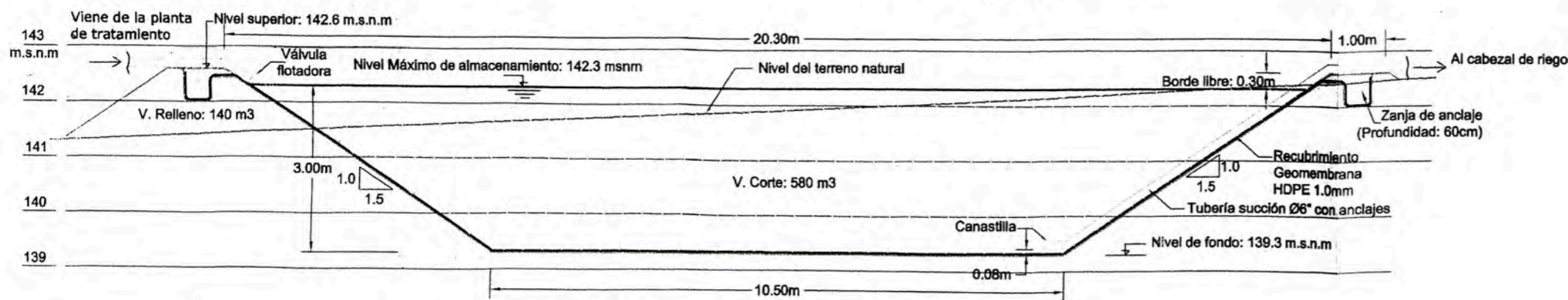
Panamericana Sur (km. 158)



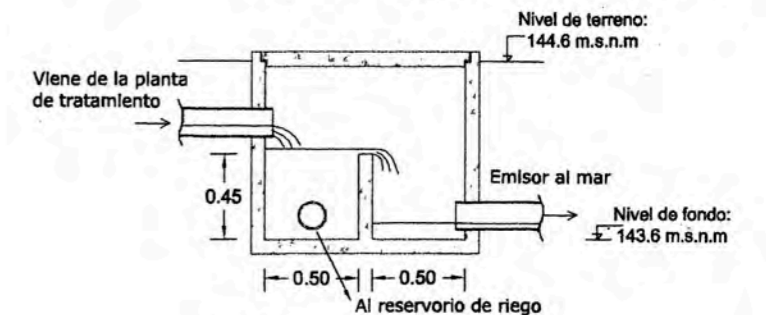
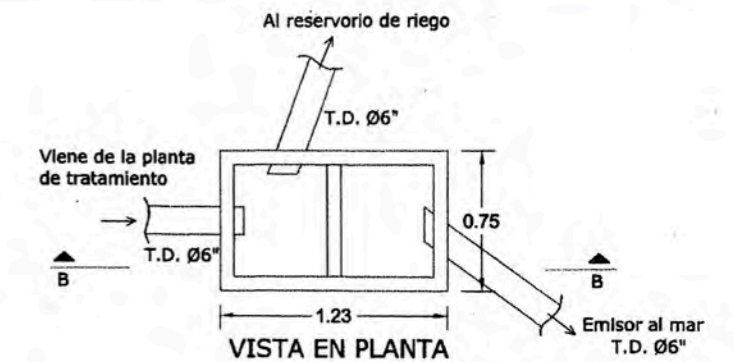
<b>PROYECTO DE SANEAMIENTO UNIPAMPA</b>		
PIANO: DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO		
UBICACIÓN: UNIPAMPA - ZONA 1 PROV. SAN VICENTE DE CAÑETE	LAMINA: D-1	
DISEÑO: BACH. RAÚL ENCARNACIÓN MELO	ESCALA: 1/800	FECHA: ABRIL 2007 N° plano: 3/4



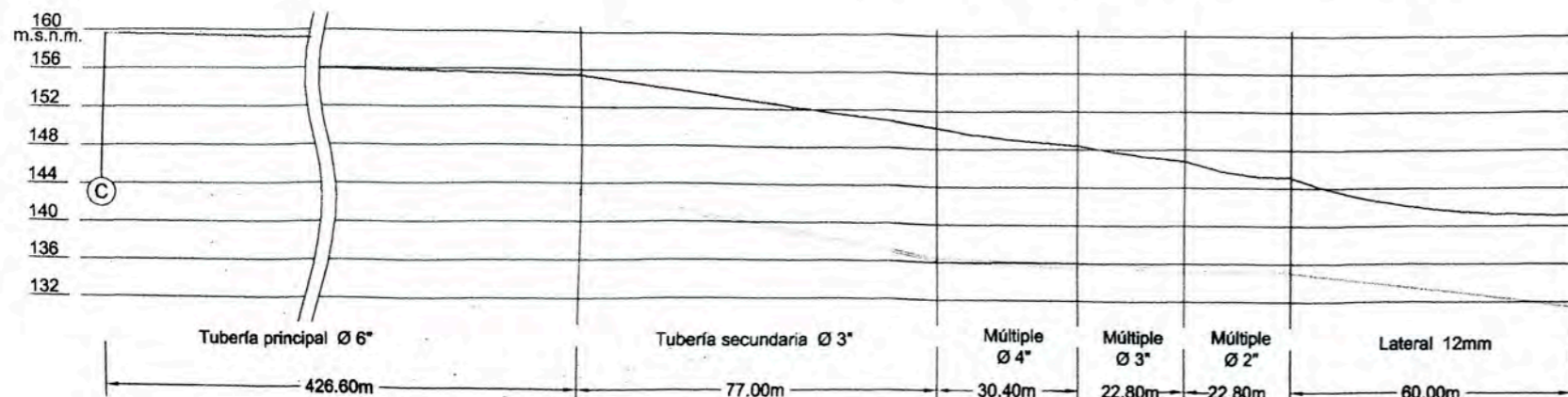
SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO - DISTRIBUCIÓN EN PLANTA  
Esc: 1/1500



RESERVOIRIO DE TIERRA (VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO 700 M3)  
SECCIÓN TRANSVERSAL A-A Esc: 1/150



SECCIÓN TRANSVERSAL B-B  
CAJA DE DERIVACIÓN  
Esc: 1/40



LINEA DE GRADIENTE HIDRÁULICO DE LA RUTA CRÍTICA DEL SISTEMA  
Esc horizontal 1:1500 Esc. Vertical 1: 750

— COTA PIEZOMETRICA  
○ CABEZAL DE RIEGO  
— TUBERIA

LEYENDA	
—	Tubería flujo por gravedad
- - -	Tubería a presión enterrada
- · - · -	Tubería a presión superficial
- - -	Lateral
—	Ruta crítica
○	Cerco perimétrico
▭	Cabezal de riego
▭	Cartel Informativo
▶	Válvula de control
▶	Reducción
●	Fitting

PROYECTO DE SANEAMIENTO UNIPAMPA		
PLANO: INFRAESTRUCTURA DE SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO		
UBICACIÓN: UNI PAMPA - ZONA 1 PROV. SAN VICENTE DE CAÑETE	LAMINA: <b>L-1</b>	
DISEÑO: BACH. RICARDO CHANG L.	N° Plano: 3/4	
ESCALA: 1/1500	FECHA: ABRIL 2007	