

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“OPTIMIZACIÓN DEL DRENAJE AGRÍCOLA CON EL USO DE  
GEOSINTÉTICOS Y SU APLICACIÓN EN EL VALLE  
JEQUETEPEQUE”.**

**TESIS  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**GLORIA LUZ FLORES FERNÁNDEZ**

**LIMA – PERÚ**

**2008**

En la vida no todos tienen la oportunidad de contar con seres que nos incentiven y estimulen a salir adelante, a no darnos por vencidos de lograr nuevas metas e ideales. Dios me ha dado la suerte de contar con mi familia, con los que comparto mis fracasos, triunfos, tristezas y alegrías, a quienes agradezco, especialmente a mis padres por su paciencia y confianza en mí.

**A la Universidad Nacional de Ingeniería por apoyarme en mi formación profesional, al Laboratorio de Hidráulica por tener siempre sus puertas abierta a los alumnos motivados a esta rama y a la Empresa Maccaferri por su apoyo e interés en el tema presentado.**

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	7
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	10
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b><u>CAPITULO I</u></b> .....	14
<b>GENERALIDADES</b> .....	14
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivos generales.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 ALCANCES.....	15
<b><u>CAPITULO II</u></b> .....	17
<b>ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	17
2.1 VALLE JEQUETEPEQUE.....	17
2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
2.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL VALLE.....	17
2.4 PROBLEMAS DE DRENAJE.....	18
2.5 ÁREA PILOTO.....	21
2.5.1 Ubicación.....	21
2.5.2 Vías de acceso.....	21
2.5.3 Clima.....	21
2.5.4 Temperatura.....	23
2.5.5 Humedad .....	23
2.5.6 Evaporación.....	23
2.5.7 Precipitaciones.....	23
2.5.8 Horas de sol.....	24
2.5.9 Vientos.....	24
2.6 SUELOS.....	24
2.7 CULTIVOS.....	25
2.8 RECURSOS HÍDRICOS UTILIZADOS PARA EL RIEGO.....	26

<b>CAPITULO III</b> .....	<b>27</b>
<b>INVESTIGACIONES DE INGENIERIA BASICA</b> .....	<b>27</b>
3.1 <b>ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO</b> .....	<b>27</b>
3.1.1 <b>Área piloto</b> .....	<b>27</b>
3.2 <b>ASPECTOS DE LA EVALUACIÓN</b> .....	<b>28</b>
3.3 <b>ANÁLISIS DE CAMPO</b> .....	<b>28</b>
3.3.1 <b>Aspectos topográficos</b> .....	<b>28</b>
3.3.2 <b>Análisis de la permeabilidad en el terreno</b> .....	<b>30</b>
3.3.3 <b>Análisis de la conductividad eléctrica del agua freática</b> .....	<b>31</b>
3.3.4 <b>Análisis de la napa freática del acuífero</b> .....	<b>33</b>
3.3.4.1 <b>Curvas isohipsas</b> .....	<b>36</b>
3.4 <b>ANÁLISIS GEOLÓGICO</b> .....	<b>37</b>
3.5 <b>ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO</b> .....	<b>38</b>
3.6 <b>PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DRENES PROYECTADOS</b> .....	<b>39</b>
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>40</b>
<b>APLICACIÓN DEL USO DE GEOSINTÉTICOS EN EL DRENAJE</b>	
<b>AGRÍCOLA</b> .....	<b>40</b>
4.1 <b>MATERIALES SINTÉTICOS</b> .....	<b>40</b>
4.1.1 <b>Polímeros</b> .....	<b>40</b>
4.1.2 <b>Los geosintéticos</b> .....	<b>42</b>
4.2 <b>SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS</b> .....	<b>49</b>
4.2.1 <b>Suelos salinos</b> .....	<b>49</b>
4.3 <b>LAS SALES EN CONTACTO CON EL MATERIAL GEOSINTÉTICO</b> ...	<b>49</b>
4.3.1 <b>Las sales en contacto con geotextil</b> .....	<b>49</b>
4.3.2 <b>Las sales en contacto con el tubo de PVC</b> .....	<b>51</b>
4.4 <b>DRENES SUBTERRÁNEOS SEGÚN MATERIALES QUE</b>	
<b>CONFORMAN SU COMPOSICIÓN</b> .....	<b>51</b>
4.4.1 <b>Dren ciego o dren francés</b> .....	<b>51</b>
4.4.2 <b>Dren de grava</b> .....	<b>53</b>
4.4.3 <b>Dren subterráneo con tubería perforada</b> .....	<b>53</b>
4.4.4 <b>Dren subterráneo con filtro envolvente</b> .....	<b>53</b>
4.4.5 <b>Dren subterráneo con geocompuestos</b> .....	<b>56</b>

<b>4.5</b>	<b>USO DE TUBERÍAS DE MATERIAL SINTÉTICO.....</b>	<b>56</b>
4.5.1	Características de la tubería de PVC.....	56
4.5.2	Limitaciones en el uso de tubería de PVC. ....	58
4.5.3	Diferencias entre los materiales de PVC y HDPE.....	58
4.5.4	Cálculo teórico de las presiones actuantes sobre la tubería.....	58
4.5.4.1	Ecuación de Marston.....	60
<b>4.6</b>	<b>USO DE LOS GEOTEXILES COMO ELEMENTO DE FILTRO.....</b>	<b>61</b>
4.6.1	Filtro envolvente del dren.....	61
4.6.2	Tipos de filtro envolvente del dren .....	63
4.6.3	Criterios de diseño de los geotextiles .....	65
4.6.3.1	Criterios mecánicos.....	65
4.6.3.2	Criterios hidráulicos.....	67
4.6.4	Diseño de los filtros envolventes protectores de drenaje con fines agrícolas, con material granular.....	70
<b>4.7</b>	<b>TÉCNICAS MODERNAS DE COLOCACIÓN DEL GEOTEXTIL.....</b>	<b>74</b>
4.7.1	Usando grava y geotextil .....	74
4.7.2	Geocompuestos .....	75
<b>4.8</b>	<b>VENTAJAS DEL USO DE LOS GEOCOMPUESTOS COMO MATERIAL DE FILTRO.....</b>	<b>75</b>
<b><u>CAPITULO V</u></b>	<b>.....</b>	<b>77</b>
<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE .....</b>	<b>.....</b>	<b>77</b>
<b>.1</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO.....</b>	<b>77</b>
5.1.1	Recarga normativa.....	77
5.1.2	Profundidad del nivel freático.....	77
5.1.3	Drenaje durante el período de crecimiento de los cultivos.....	77
5.1.4	Drenaje de sales .....	78
5.1.5	Fórmula para determinar el espaciamiento de drenes.....	78
<b>5.2</b>	<b>CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES.....</b>	<b>78</b>
5.2.1	Cálculo de la profundidad de los drenes (P).....	80
5.2.2	Determinación del valor de "D": .....	81
5.2.3	Determinación de la permeabilidad (K).....	81
5.2.3.1	Método de HOOGHOUT.....	82
5.2.4	Determinación del coeficiente de recarga (CD).....	83

5.2.5	Determinación del espaciamiento entre drenes "L".....	83
<b>5.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS.....</b>	<b>85</b>
5.3.1	Caudal de diseño .....	85
5.3.1.1	Aplicando el módulo de drenaje .....	85
5.3.1.2	Aplicando la ecuación de GLOVER DUMM.....	90
5.3.2	Diámetro de la tubería ( $D_{TUB}$ ) .....	91
5.3.2.1	Aplicando el módulo de drenaje .....	91
5.3.2.2	Aplicando la ecuación de GLOVER DUMM.....	91
5.3.3	Cálculo de la caja de drenes .....	94
5.3.3.1	Ancho de fondo y taludes .....	94
5.3.4	Pendiente.....	94
5.3.5	Velocidad permisible y nivel de agua.....	94
5.3.6	Coefficiente de rugosidad.....	97
<b>5.4</b>	<b>INFRAESTRUCTURA COMPLEMENTARIA .....</b>	<b>97</b>
5.4.1	Entregas.....	98
5.4.2	Buzones de inspección.....	98
<b><u>CAPITULO VI</u></b>	<b>.....</b>	<b>99</b>
<b>ENSAYO DE EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE .....</b>	<b>99</b>	
<b>6.1</b>	<b>ENSAYO REALIZADO.....</b>	<b>99</b>
6.1.1	Sistema más eficiente.....	99
6.1.2	Colocación del geocompuesto .....	99
6.1.3	Distribución y diámetro de los agujeros.....	100
6.1.4	Distribución de las aberturas.....	100
6.1.4.1	Distribución de los agujeros.....	101
6.1.5	Resistencia al paso del agua hacia las aberturas de la tubería....	101
<b>6.2</b>	<b>LIMITACIONES DEL ENSAYO REALIZADO.....</b>	<b>101</b>
<b><u>CAPITULO VII</u></b>	<b>.....</b>	<b>103</b>
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA DE DRENAJE</b>		
<b>PROPUESTO .....</b>	<b>103</b>	
<b>7.1</b>	<b>INVERSIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>103</b>
<b>7.2</b>	<b>COSTOS DE DRENES SUBTERRÁNEOS.....</b>	<b>103</b>

---

7.2.1 Drenes subterráneos .....	103
7.2.1.1 Sistema convencional.....	103
7.2.1.2 Sistema con geocompuestos (MAC DRAIN).....	104
7.3 VENTAJAS ECONOMICAS.....	104
7.3.1 Costos de construcción.....	104
7.3.2 Costos de mantenimiento de los drenes .....	104
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES. ....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	113
ANEXOS.....	114
LISTA DE FIGURAS Y CUADROS DE ENSAYO.....	115
A1 EXPERIMENTACIÓN EN MEDIO FÍSICO DE DRENAJE.....	119
A2 PLANOS.....	161



## RESUMEN

El valle Jequetepeque está ubicado en la costa norte del Perú a 700 Km. de Lima, sus campos de cultivo están regados por las descargas del río del mismo nombre y está regulado por el embalse "Gallito Ciego".

A raíz de la ocurrencia del fenómeno del Niño, en las zonas bajas de irrigación de ese entonces sufrieron grandes pérdidas en los cultivos entre las cuales destaca la zona del sector Santa Rosa, por la acción de las crecidas y desbordes del río Zaña que inundó y destruyó grandes hectáreas sin que hasta el momento se hayan podido recuperar y que seguirán salinizandose hasta el punto en que será imposible la siembra de algún cultivo alternativo.

Debido a esta situación es inminente la construcción de un sistema de drenaje, por lo que se propone el uso de geosintéticos como componente del filtro envolvente, elaborando el diseño del sistema, siguiendo los parámetros necesarios para un eficiente sistema de evacuación.

En el presente trabajo se realizaron ensayos comparativos de laboratorio, que se detallan pormenor, donde se observa, que el sistema elaborado con geocompuestos, son ventajosos y eficientes, debido a sus propiedades hidráulicas.

Se advierte también las ventajas económicas que se obtienen aplicando estos productos, además de darle una mejor performance y vida útil, que se refleja en la disminución de trabajos de mantenimiento.

Los beneficios directos de este proyecto, están constituidos por la conservación, mejoramiento y la recuperación de terrenos agrícolas, afectados por la salinización; y así garantizar el bienestar económico de los agricultores del ámbito del proyecto.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura N° 2.1	Esquema Hidráulico. Sistema de drenaje sector Santa Rosa .....	19
Figura N° 2.2	Dren Colector I-I, de 15,7km de longitud, usado por los pobladores para satisfacer sus necesidades de consumo y limpieza.....	20
Figura N° 2.3	Dren Colector II-II, de 4,7km de longitud. Se observa vegetación creciendo en sus taludes, lo que genera una disminución de su eficiencia.....	20
Figura N° 2.4	Ubicación de área piloto y las vías de acceso al área de estudio.....	22
Figura N° 2.5	Cultivos en la zona de estudio. ....	26
Figura N° 4.1	Geotextil tejido.....	43
Figura N° 4.2	Geotextil no tejido.....	43
Figura N° 4.3	Geoceldas.....	45
Figura N° 4.4	Revestimiento de talud de canales con geoceldas.....	45
Figura N° 4.5	Geored.....	46
Figura N° 4.6	Geomalla.....	46
Figura N° 4.7	Geomenbrana.....	48
Figura N° 4.8	Geotubo.....	48
Figura N° 4.9	Geosintético.....	48
Figura N° 4.10	Se observan las acumulaciones de sales en un área de cultivo en abandono totalmente salinizado, situado dentro de la zona de estudio.....	50
Figura N° 4.11	Napa freática expuesta a la superficie. El colector verdoso del agua nos indica el alto contenido de sales las mismas que se transforman en costra blanca sobre la superficie del suelo.....	50
Figura N° 4.12	Geocompuesto expuesto a condiciones extremas de salinidad, vemos como se han cristalizado sus orificios que es donde se acumulan las partículas salinas.....	52

Figura N° 4.13	Se observa que el geocompuesto no ha sufrido fisura o desintegración de sus componentes, ni obstrucción total de sus poros ya que mantiene su propiedad permeable.....	52
Figura N° 4.14	Dren Francés, conformado por piedra grande sin tubo. Utilizado con buenos resultados, aunque no operaban por mucho tiempo.....	54
Figura N° 4.15	Dren de Grava, el material de filtro es elaborado con grava graduada y seleccionada con una mejor eficiencia de la evacuación. ....	54
Figura N° 4.16	Dren Subterráneo con tubería perforada, utilizada por muchos años en el drenaje agrícola, con buenos resultados aunque al cabo de los años pierde su eficiencia debido a la acumulación de finos en sus poros.....	55
Figura N° 4.17	Dren Subterráneo con filtro envolvente, conformado por grava graduada, geotextil y tubería perforada. Este sistema es utilizado con éxito debido a su excelente capacidad de drenaje y total protección de finos.	55
Figura N° 4.18	Geocompuestos, conformado por dos paredes de geotextil y un drenante en la parte central.....	57
Figura N° 4.19	Comportamiento del geocompuesto Mac Drain, aplicado al drenaje agrícola.....	57
Figura N° 4.20	Huso granulométrico para el filtro protector.....	73
Figura N° 5.1	Representa un terreno con drenes subterráneos. En el régimen permanente se considera el movimiento de napa freática tanto para la recarga como para la descarga del acuífero.....	80
Figura N° 5.2.	Geometría del método de pozo perforado. Suponiendo un suelo Homogéneo.....	82
Figura N° 5.3	Representación de los diferentes sectores existentes en el área de estudio.....	86
Figura N° 7.1	Representación porcentual de costos del proyecto de drenaje según su descripción.....	107
Figura N° 7.2	Representación porcentual de costos de la partida mencionada respecto al costo total.....	108

---

Figura N° 7.3	Comportamiento del sistema "A" respecto al sistema "B".....	109
Figura N° 7.4	Representación porcentual del costo de la partida de sistema "A" respecto al costo total.....	109
Figura N° 7.5	Representación porcentual del costo de la partida de sistema "B" respecto al costo total.....	110

**LISTA DE CUADROS**

Cuadro N° 3.1	Rangos de salinidad.....	32
Cuadro N° 3.2	Valores de conductividad eléctrica obtenidos en campo con el uso del conductivímetro en pozos.....	34
Cuadro N° 3.3	Valores de conductividad eléctrica obtenidos en campo con el uso del conductivímetro en las calicatas.....	35
Cuadro N° 4.1	Estructuras de las moléculas de algunos de los principales polímeros sintéticos.....	41
Cuadro N° 4.2	Cuadro comparativo de las propiedades mecánicas y físicas de las tuberías de HDPE y PVC.....	59
Cuadro N° 4.3	Valores aproximados del "C" coeficiente de las cargas sobre las zanjas.....	62
Cuadro N° 4.4	Requerimientos mínimos de propiedades mecánicas del geotextil.....	66
Cuadro N° 4.5	Requerimientos mínimos de propiedades hidráulicas del geotextil.....	66
Cuadro N° 4.6	Huso granulométrico para el filtro protector.....	73
Cuadro N° 5.1	Profundidad efectiva promedio de raíces por cultivo.....	79
Cuadro N° 5.2	Uso consuntivo máximo diario por cultivo.....	79
Cuadro N° 5.3	Determinación de la conductividad hidráulica "K", con los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad en campo.....	84
Cuadro N° 5.4	Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la ecuación de Glover Dumm Sector I.....	87
Cuadro N° 5.5	Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la Ecuación de Glover- Dumm Sector II.....	88
Cuadro N° 5.6	Cálculo de espaciamiento entre drenes empleando la ecuación de Glover - Dumm Sector III.....	89
Cuadro N° 5.7	Valores de campo de los diferentes sectores analizados.....	90

Cuadro N° 5.8	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando el módulo de drenaje. Sector I.....	92
Cuadro N° 5.9	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando el módulo de drenaje del Sector II.....	92
Cuadro N° 5.10	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando el módulo de drenaje del Sector III.....	92
Cuadro N° 5.11,	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando la fórmula de Glover Dumm del Sector I.....	93
Cuadro N°5.12	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando la fórmula de Glover Dumm del Sector II.....	93
Cuadro N°5.13	Cálculo del caudal de diseño y diámetro de la tubería aplicando la fórmula de Glover Dumm del Sector III.....	93
Cuadro N° 5.14	Resumen de los diámetros a utilizar.....	95
Cuadro N° 5.15	Cálculo de las dimensiones de la caja dren.....	96
Cuadro N° 5.16	Velocidades permisibles.....	97
Cuadro N° 6.1	Número de perforaciones por cantidad de filas.....	101
Cuadro N° 7.1	Suministro e instalación de filtro con grava para dren ..	105
Cuadro N° 7.2	Suministro e instalación de filtro con geocompuestos para Dren.....	106

## **INTRODUCCIÓN**

Tomando como ejemplo la región Mesopotámica hace unos 5 000 años, se puede observar como la pérdida de la productividad de sus tierras ocasionada por el re uso de las aguas de riego, condujo a la salinización de los suelos de sus áreas de cultivo, provocando la caída de la civilización sumeria. Actualmente se acepta que la mayor parte de los suelos bajo riego presentan algunas pérdidas de productividad por problemas de salinidad.

El sistema de drenaje natural para evacuar los excedentes de las aguas de riego en los valles agrícolas de la costa, que está formado principalmente por los ríos y por los litorales, son insuficientes para evacuar los sobrantes de las aguas superficiales y subterráneas, haciéndose indispensable la construcción de adecuados sistemas de drenajes artificiales para que cumplan esta función.

El mal drenaje de los suelos, tanto superficial como subterráneo, ha sido un aspecto al que históricamente no se le ha dado la debida importancia. La actitud normal de los agricultores frente a estos problemas ha sido evitar utilizar aquellos suelos con problemas de drenaje, o usar cultivos de corto período de desarrollo, que crezcan durante la temporada en que el problema no es evidente.

En la presente tesis se ha estudiado los diferentes factores que influyen en el mejoramiento y/u optimización de los agentes que intervienen en el sistema de drenaje agrícola. El sistema de drenaje optimizado que se expone, se sustenta en aspectos teóricos de hidrogeología, así como en investigaciones de ingeniería básica de campo y gabinete. En los dos primeros capítulos describimos el área de estudio y los trabajos de campo realizados, también se efectuarán investigaciones experimentales de laboratorio para determinar básicamente las características y propiedades de los materiales sintéticos a utilizar.

Posteriormente la revisión de los diferentes aspectos que debe ser evaluado cuando se proyecta la construcción de drenes en el ámbito de estudio.

En la cuarta parte se detallan los geosintéticos y el análisis de diseño, así como de las características físicas, mecánicas e hidráulicas que estas deben tener

resultados eficientes. Más adelante se hace el diseño de los materiales que están involucrados en el sistema, así como la presentación de los resultados obtenidos.

Finalmente hacemos una comparación económica de las ventajas que obtenemos con la aplicación de esta alternativa que cada día crece más en el mercado y es usado con resultados óptimos.



## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Probablemente la práctica del drenaje es tan antigua como la agricultura, teniendo como pioneros a los romanos, aunque recibió pocas mejoras en el transcurso de los años. Fue en Inglaterra donde se comenzó el uso del drenaje entubado, empleando para ello barro y arcilla. Se puede considerar que el desarrollo teórico de esta práctica se inicia con los experimentos llevados a cabo por Henry Darcy.

El drenaje agrícola ha tenido diversos cambios y evoluciones a través de su empleo; hoy en día se aplica el uso de geosintéticos para incrementar la eficiencia del drenaje, aprovechando las bases de especificaciones de geotextiles elaborados por los gremios normativos.

Luego de varios años del éxito que tuvo en la aplicación de los geosintéticos en proyectos de carreteras, a inicio de los años ochenta se utilizó también en obras hidráulicas y en drenaje abriendo un nuevo campo de aplicaciones e investigaciones.

Entre los estudios de drenaje realizados en el valle Jequetepeque y que servirán de base para este estudio podemos citar los siguientes:

- Agro y Agua Asociados (1987) realizó la investigación "Drenes Complementarios del Pueblo Nuevo Santa Rosa".
- Apodesa-INADE (1994) Zonificación de áreas húmedas - Problemas de drenaje y salinidad, Valle Jequetepeque – Zaña.
- Proyecto Especial Jequetepeque Zaña (2003) realizó el "Estudio de Drenaje Agrícola y Rehabilitación de suelos en el sub-sector de riego Santa Rosa, zonas Iglesia Vieja – San Isidro".
- Puiggros Ingenieros Consultores (1982) realizó el estudio "Investigación y Estudios Complementarios para la planificación del sistema de drenaje en las áreas con problemas de salinidad y/o mal drenaje natural".
- Salzgitter Consult (1982) realizó el "Estudio Integral para los valles de Jequetepeque y Zaña.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos generales**

- Optimizar el sistema de drenaje entubado con materiales sintéticos en los principales elementos que lo componen.
- Proponer la aplicación de este sistema como alternativa de solución a los problemas de drenaje agrícola.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar mediante las investigaciones de ingeniería básica de campo, gabinete y laboratorio lo siguiente:
  - Los parámetros hidrogeológicos, construcción de las curvas características, el comportamiento, y las propiedades físico – químicas del agua subterránea.
  - La morfología superficial del terreno, los perfiles estratigráficos y las propiedades físico – químicas del suelo.
- Comprobar mediante ensayos experimentales los parámetros de diseño y los criterios de selección de los materiales sintéticos que se utilizarán para optimizar el sistema de drenaje entubado, de acuerdo a las propiedades físico - químicas del agua y suelo de la zona en estudio.
- Diseñar el sistema de drenaje optimizado con materiales sintéticos, en el área piloto seleccionada.
- Elaborar una evaluación económica entre los dos sistemas, de los beneficios y/o desventajas que estos materiales generan en los proyectos de drenaje.

## **1.3 ALCANCES**

Debido a los graves problemas de empantamiento del sector en estudio, se presenta la tesis que proyectado un sistema de drenaje subterráneo entubado optimizado con el uso de geocompuestos, que ayudará a deprimir y mantener el nivel de la napa freática a la profundidad requerida para el desarrollo de la cédula de cultivos alternativos al arroz, así como para recuperar suelos completamente salinizados.

Para seleccionar el área piloto se evaluó el total del área donde se presenta mayor salinización y mal drenaje. En el área seleccionada se llevaron a cabo varias actividades, como una inspección visual y el levantamiento topográfico del

varias actividades, como una inspección visual y el levantamiento topográfico del relieve del terreno, con el cual se ha elaborado un plano topográfico con curvas de nivel a cada metro en este sector. Además se analizó la composición física y las dimensiones de los estratos de los suelos y la dirección de las aguas subterráneas a través de calicatas a cielo abierto y pozos de observación, también se realizaron pruebas en el sitio para determinar los parámetros hidrogeológicos principales como la conductividad eléctrica, la permeabilidad y la infiltración.

Cabe indicar que se extrajeron muestras del suelo a diferentes profundidades para clasificarlos mediante curvas granulométricas y tablas SUCS y elaborar el análisis físico – químico del mismo. Asimismo se tomaron muestras del agua subterránea para su respectivo análisis físico – químico.

Los resultados de las investigaciones de ingeniería básica y de los análisis, son de vital importancia en el diseño del sistema en general y para seleccionar los materiales sintéticos adecuados que se utilizarán en la optimización del sistema propuesto.

## CAPITULO II

### **ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **2.1 VALLE JEQUETEPEQUE**

El valle Jequetepeque está ubicado en la costa norte del Perú a 700 km. de Lima. Geográficamente, la zona de estudio se ubica entre las coordenadas UTM 689750 y 653750 Este y las coordenadas 9215500 y 9171350 Norte tal como se aprecia en el Plano N° 1

El valle Jequetepeque es regado por las descargas del río del mismo nombre y está regulado por el embalse "Gallito Ciego", donde aproximadamente 400 millones de metros cúbicos de agua cada año pueden almacenarse durante los meses de abundancia de lluvias (enero-abril), para luego ser descargados en los meses de estiaje (junio-diciembre).

#### **2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Desde 1987, el río Jequetepeque se encuentra regulado mediante el embalse "Gallito Ciego", esta regulación ha permitido un incremento significativo de las reservas acuíferas en una amplia extensión del valle. Estas áreas se encuentran en intercambio con la atmósfera a través de la evaporación, fenómeno que a su vez, está en relación directa con la salinización de los suelos. Según evaluaciones efectuadas el año 1,994 existe alrededor de 25,000ha donde la salinidad de las aguas subterráneas supera los 2 mmhos/cm, con el cual los rendimientos de la cédula de cultivos probablemente están siendo afectados.

#### **2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL VALLE**

El valle Jequetepeque presenta un sistema de drenaje que está conformado por el colector Principal I-I, de 15.7 km de longitud, entrega sus aguas al río Chamán, a través de su recorrido recibe el agua de drenaje de tres colectores que son los siguientes:

- a. **Colector Lateral II -II.-** Tiene una longitud de 4.17 km; desagua en el dren I-I. Un área de influencia de aproximadamente 1,044ha.
- b. **Colector Lateral III-III.-** Tiene una longitud de 4.3 km; desagua en el colector principal (dren I-I). El colector lateral drena un área de influencia de aproximadamente 249ha.
- c. **Colector Lateral IV-IV.-** Tiene una longitud de 3 km; desagua en el colector principal I-I. El área de influencia que drena este colector lateral es aproximadamente 563ha.
- d. **Colector Lateral V-V.-** Tiene una longitud de 5.37 km; desagua en el colector IV-IV. El área de influencia de este colector es aproximadamente 580ha.

También existen otros colectores denominados: Demétrio, El Milagro y Santa Elena, cuyos escurrimientos vierten al mar; así como los drenes de Jequetepeque. En las figuras 2.1 al 2.3 se observan los drenes colectores mencionados anteriormente y la situación actual en la que se encuentran.

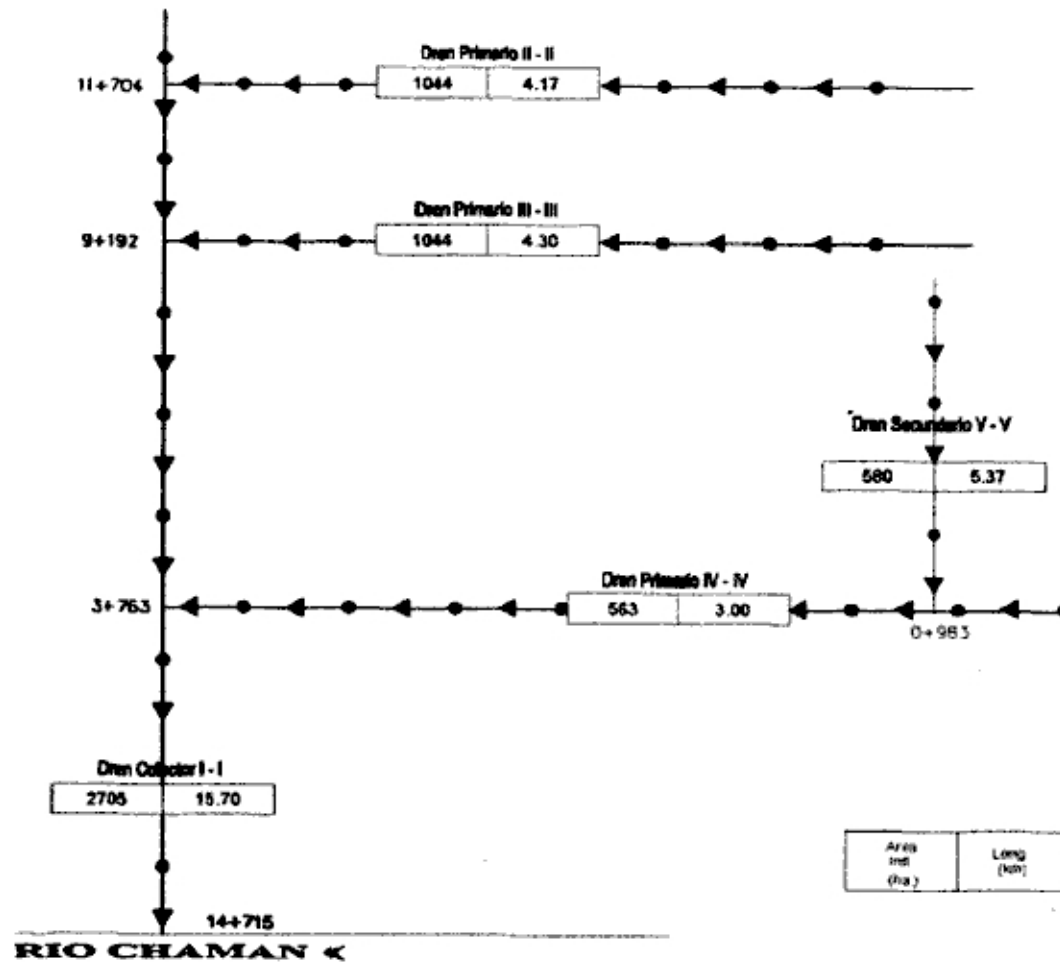
## **2.4 PROBLEMAS DE DRENAJE**

El valle Jequetepeque sufrió serios daños de inundaciones y destrucciones de canales, durante los cuatro meses de presencia del fenómeno "El Niño" en los años 1997 - 1998, de magnitud extraordinaria, debido a la crecida y desbordes del río Jequetepeque.

A raíz de este acontecimiento extraordinario, las zonas bajas de irrigación de ese entonces sufrieron grandes pérdidas en los cultivos; entre las cuales destaca la zona del sector Santa Rosa, por la acción de las avenidas y desbordes del río Zaña que inundó y destruyó grandes hectáreas sin que hasta el momento se hayan podido recuperar, sobre todo económicamente los regantes y propietarios de tales parcelas. Con el transcurso del tiempo y la secuencia de años húmedos ocurridos, se ha producido también, acrecentamiento del nivel freático subterráneo sobre estos terrenos, lo cual ha conllevado a un aumento relativo de la salinización en la zona de estudio.

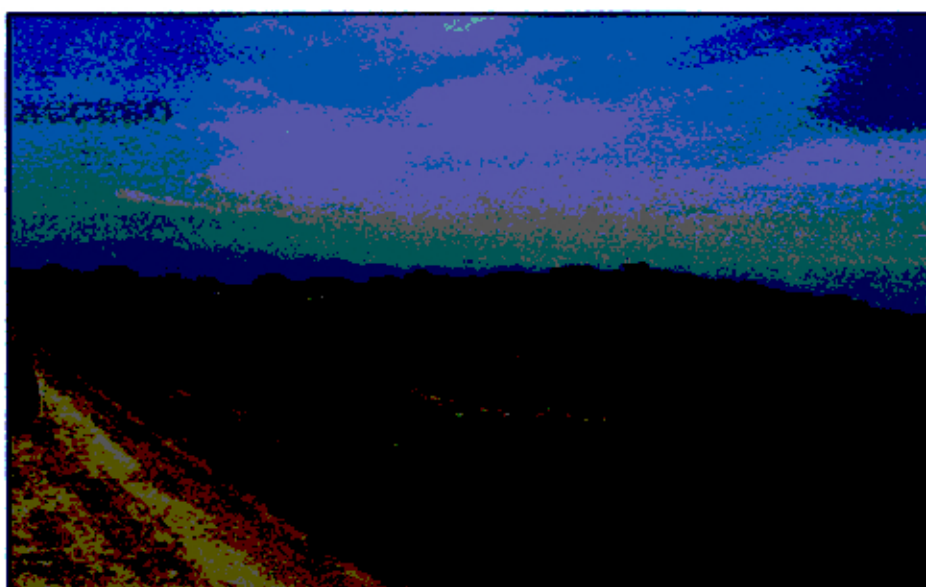
**FIGURA N° 2.1**

**ESQUEMA HIDRÁULICO  
SISTEMA DE DRENAJE SECTOR SANTA ROSA**





**Fig. Nº 2.2.- Dren Colector I-I, de 15,7km de longitud, usado por los pobladores para satisfacer sus necesidades de consumo y limpieza.**



**Fig. Nº 2.3.- Dren Colector II-II, de 4,7 km de longitud. Se observa vegetación creciendo en sus taludes, lo que genera una disminución de su eficiencia.**

## 2.5 ÁREA PILOTO

Tomando el valle Jequetepeque como un área de aplicación para el presente trabajo, se designa un área piloto, cuyas características se mencionan a continuación y se representan en la figura N° 2.4.

### 2.5.1 UBICACIÓN

El ámbito del área piloto seleccionada para la presente tesis comprende el área de influencia ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas:

<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
658,000	9'213,000
650,000	9'211,500

Esta zona piloto está ubicada en el territorio de Iglesia Vieja - San Isidro perteneciente al sub sector de riego Santa Rosa, que está suscrito actualmente a la comisión de regantes del sector Pueblo Nuevo, de la provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad.

### 2.5.2 VÍAS DE ACCESO

El acceso a la zona en estudio se realiza por el distrito de Guadalupe a través de la pista asfaltada que conduce al distrito de Pueblo Nuevo, para luego continuar por la pista afirmada hasta el poblado Santa Rosa; de allí continua por un camino afirmado que conduce hacia el poblado de El Alto San Idelfonso, por donde es notorio el cruce y la bifurcación del río Zaña. Luego se prosigue hacia el Oeste hasta ingresar a las zonas de cultivo.

### 2.5.3 CLIMA

El Valle Jequetepeque donde se ubica el área de estudio, se encuentra en una zona semi-árida, con un clima subtropical, e influenciada por las masas de aire que se encuentran encima del agua fría de la corriente marina de Humboldt.



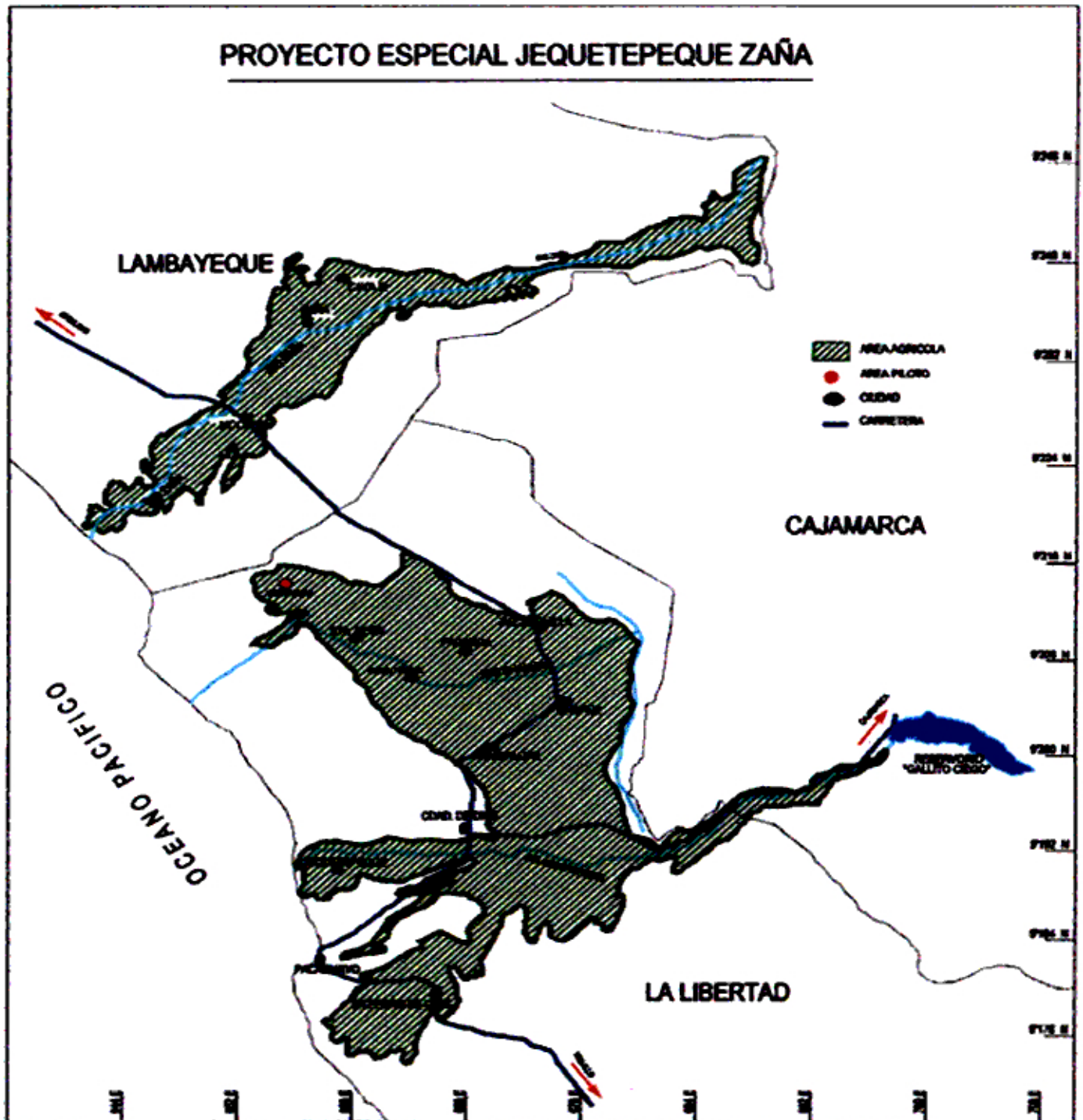


Fig. N° 2.4.- Ubicación del área piloto y las vías de acceso al área de estudio

Estas ocasionan temperaturas bajas de aire en la franja litoral, elevan la humedad relativa del aire y limitan a un mínimo la evaporación, así como las precipitaciones.

La evaluación de los parámetros hidrometeorológicos han sido realizados en base a la información registrada en la estación climatológica Talla - Guadalupe para diferentes periodos de información, a excepción de la temperatura que fueron tomados en el lugar.

#### **2.5.4 TEMPERATURA**

Esta zona presenta un clima árido, semicálido transicional a cálido, teniendo una temperatura media anual de 27.4 ° C. Las temperaturas máximas se producen de Enero a Marzo llegando hasta 36 ° C; las temperaturas mínimas ocurren en los meses de Julio a Septiembre, descendiendo hasta 16.6 ° C. Cabe señalar que estas temperaturas se han medido en el lugar, sin embargo, la fuente más cercana como es la estación Talla – Guadalupe muestra temperaturas medias 25° C, máximas 27.4° C, y mínima 20° C.

#### **2.5.5 HUMEDAD**

La humedad relativa del aire puede alcanzar valores máximos de 100%, encontrándose sin embargo el promedio de muchos años el valor de 77%. La humedad relativa media anual en el valle Jequetepeque es de 78.46%, asimismo la media mensual varía de 75.2% en Enero a 81.9% en Julio.

#### **2.5.6 EVAPORACIÓN**

La evaporación característica en el valle Jequetepeque, especialmente en la zona de estudio fluctúa entre 4.0mm/día (Julio) y 6.3mm/día (Diciembre). La evaporación media anual es de 1926mm.

#### **2.5.7 PRECIPITACIONES**

Las precipitaciones son muy reducidas fuera de épocas excepcionales como el fenómeno El Niño; en años normales se registran hasta 16mm de precipitación,

la mayor precipitación del año en esta zona del estudio ocurre en el mes de Marzo, comenzando a incrementarse a partir del mes de Enero, aumentando paulatinamente hasta Marzo, donde llega a alcanzar 15mm. La precipitación total anual es de 50mm.

### **2.5.8 HORAS DE SOL**

El promedio anual de horas de sol diario es de 6.2H.S fluctuando entre 5.4 y 6.9 H.S.

### **2.5.9 VIENTOS**

Los vientos predominantes del valle, son de dirección SW, con velocidades que varían de 4.6 m/s a 6.48 m/s en Octubre, con máximas de 8.8 m/s en Noviembre, los cuales se pueden tipificar como vientos moderados (23.33 km/hora) a fuertes, en las áreas desérticas del valle, son los causantes de formación y movimiento de dunas.

## **2.6 SUELOS**

En general los suelos existentes en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque Zaña son de origen aluvial o eólico, no presentan ningún perfil genéticamente desarrollado.

El origen de los materiales transportados por el viento es el más cercano y fácilmente identificable, están constituidos por arenas finas sueltas, pobres en calcio, muestran profundos perfiles uniformes, en los antiguos depósitos se encuentra una estratificación débil, confusa según la edad de los sedimentos.

En la zona más próxima al estudio como es Santa Rosa donde los terrenos todavía no se encuentran muy salinizados los suelos son de origen eólico, que ocupan pampas semidesérticas, planos ligeramente inclinados, con dunas o sin ellas, en general los suelos son arenosos, finos, sueltos, con permeabilidades relativamente altas y secas; afectadas por moderada erosión eólica. Gran parte de estos están sin uso, donde la productividad es moderadamente baja.

Estos terrenos presentan en la superficie arenas finas con pequeñas variaciones de limos y gravas los estratos inferiores son de espesores variables conformado

principalmente por limo arenoso 70% y material orgánico 30%, debajo de estos se encuentra carbonatos, que no es más que roca y que comúnmente se le conoce con el nombre de Greda, tiene muy baja permeabilidad y en muchos casos se le encontró a poca profundidad y mayormente por debajo del nivel freático.

En áreas pequeñas se encontraron diversos tipos de material anguloso de tamaño variable hasta de 15cm de diámetro promedio así como gravas, gravillas y arenas.

Los materiales más representativos encontrados en el área, está constituida por: Arenas finas, arenas limosas, gravas y conglomerado gredoso (Caliche).

## **2.7 CULTIVOS**

En el valle Jequetepeque – Zaña se tiene una vegetación natural, que debido a su aridez, se reduce a unos pocos árboles, arbustos y cactus muy resistentes a la sequía, que se mantienen con la humedad del aire, el agua subterránea y precipitaciones esporádicas. En los desiertos arenosos o pedregosos que a suficientes profundidades tengan agua subterránea o por lo menos humedad para las raíces de algunos árboles y arbustos, Se pueden encontrar algarrobos, zapote, vichayo, fayque o espino, chope; en la sombra de los árboles se encuentra el cuncano; a orillas del río y en las praderas crecen el sauce y en zonas extremadamente secas y onduladas y sin la más mínima posibilidad de humedad se mantienen en forma esporádica los cactus.

En la zona de estudio actualmente predomina el cultivo de alfalfa, menestras, hasta hace 6 años se cultivaba arroz, lentejas, boca negra, frijoles, y paulatinamente debido a la falta de un sistema de drenaje y a la ocurrencia del fenómeno El Niño del año 97 - 98, los terrenos quedaron empantanados ocasionando graves daños, disminuyendo su eficiencia y productividad agrícola. En la actualidad debido a los graves problemas de salinización por los que atraviesa el área de estudio, la siembra principal está representada por el cultivo de alfalfa, espárragos y caña de azúcar, siendo los cultivos de segunda predominancia la yuca y zarandaja (más conocido como el chileno).

Respecto a los frutales, en este sector es mínimo. Encontrándose en algunas zonas cultivo de mango, uva y otros. Ver figura N° 2.5

## 2.8 RECURSOS HÍDRICOS UTILIZADOS PARA EL RIEGO

Para el riego de las áreas de cultivo en este sector se utiliza principalmente las aguas superficiales provenientes del Reservorio Gallito Ciego, mediante el canal principal Pueblo Nuevo el cual tiene diversas derivaciones hasta de 3er orden como son:

De primer orden: Iglesia vieja, Cueva, Los Huabos, Iglesia Vieja I, Becerra, Lima, Luz Octavia y Arteaga.

De segundo orden: Vásquez, Doig, San Francisco, Arteaga, Luz Octavia, Zamora, Capuñay y Salcedo.

De tercer orden: Balarezi, Agustino, Eugenio, Ventarrón, Terrones y Castañeda.

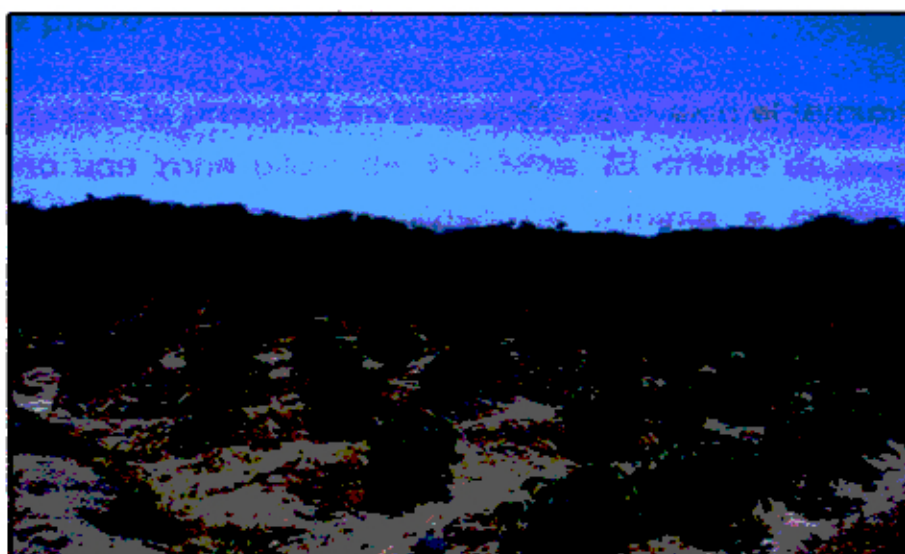


Fig. N° 2.5.- Cultivos en la zona de estudio

## **CAPITULO III**

### **INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA BÁSICA**

#### **3.1 ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO**

Para el presente trabajo se ha considerado básico efectuar la evaluación del problema de drenaje sobre un determinado ámbito. Para ello la "Comisión de Regantes Santa Rosa" ha efectuado el trazado cualitativo de afectación y el área de influencia del problema de salinización, el cual resulta superficialmente notorio.

Esta área se ubica en la parte baja del valle, al Nor-Oeste, en los límites con tierras eriazas, comprendida en el Sub-Sector de Riego Santa Rosa, en las zonas denominadas Iglesia Vieja y San Isidro. El sistema de drenaje a implementar está concebido para controlar y revertir los procesos de empantanamiento y salinización excesiva de los suelos en el ámbito indicado y garantizar la actividad agrícola y capacidad productiva en un área de influencia de 1,575Ha. Para producir 18,600 TM en beneficio de 220 familias aproximadamente.

##### **3.1.1 Área piloto**

Para llevar a cabo la presente investigación se evaluó el territorio de influencia y se seleccionó una zona piloto de 319.38ha. El criterio de evaluación de esta zona fue básicamente la variabilidad de mínima a máxima salinidad que presentan sus suelos.

En esta área se excavaron las calicatas para realizar las observaciones, mediciones y los ensayos relacionados con el estudio; esto nos permitirá tener un conocimiento completo del comportamiento del flujo, tanto superficial como subterráneo, así como las características del suelo. Los pozos existentes dentro del área de investigación, fueron de gran utilidad ya que estos sirvieron para realizar mediciones y ensayos complementarios, permitiendo el enriquecimiento de la información.

## **3.2 ASPECTOS DE LA EVALUACIÓN**

Los estudios hidráulicos a aplicar, en este caso se efectuaron principalmente en base a los datos tomados actualmente en el campo. Se consideró para el presente caso una evaluación con los valores de conductibilidad eléctrica, permeabilidad y de infiltración así como la topografía y las propiedades internas que presenta el terreno, obtenidos de las mediciones en las calicatas a cielo abierto y en los pozos existentes excavados por los mismos agricultores.

A partir de estas primeras evaluaciones y de los análisis en estos puntos, se preparó a posterior el plan de mediciones, detallando en los siguientes acápite los análisis y evaluaciones para la zona en estudio. En el Plano N° 2, se observa la ubicación de los pozos de observación y de las calicatas excavadas especialmente para la presente investigación.

## **3.3 ANÁLISIS DE CAMPO**

Es importante tener una adecuada información acerca del relieve predominante del terreno en el ámbito de trabajo.

### **3.3.1 Aspectos topográficos**

Se distinguen tres casos característicos, en que el relieve del terreno influye en el escurrimiento superficial de las aguas, causando erosión laminar de los suelos o empantanamiento de los mismos, generando de esta manera el problema de elevación de la napa freática:

- 1. Topografías muy planas ( $< 0,5\%$ ), que impiden el libre escurrimiento de las aguas y con frecuencia causan acumulación superficial. Este efecto se agrava con la existencia de micro relieve con pequeñas o medianas depresiones.**
- 2. Suelos de lomaje, de topografía ondulada, tienen un alto escurrimiento superficial y los excesos se acumulan en las depresiones. Si éstas no poseen una adecuada salida natural, se presentan severos problemas localizados.**

3. **Micro relieve con depresiones pequeñas y medianas, que dificultan el movimiento superficial del agua.**

Los trabajos topográficos se desarrollaron en tres etapas:

#### **1° Revisión y análisis de la información existente**

El primer paso para realizar un análisis preliminar de la superficie del terreno consiste en revisar y analizar los mapas, cartas, fotografías aéreas del área de estudio. Es importante también la comparación de fotografías antiguas con las actuales porque ellas pueden dar una idea sobre la naturaleza y la evolución del problema de drenaje. También es importante que el investigador realice una inspección visual de la zona de estudio para tener una idea clara de la morfología de la superficie del terreno y sacar conclusiones previas.

#### **2° Trabajo de campo**

Los trabajos de campo estuvieron orientados principalmente a realizar el levantamiento topográfico del área de estudio y para lo cual se emplearon los siguientes instrumentos de precisión: Estación total, prismas y el equipo navegador GPS, asimismo se monumentaron los BMs utilizados como base para la nivelación y como poligonal de apoyo en el levantamiento, estos servirán para replantear el trazo del sistema y de las obras de arte proyectadas. Cabe señalar también, que se tuvo especial cuidado en ubicar todos los detalles, como canales, caminos, obras hidráulicas existentes, etc.

Este levantamiento es la base con la que se realizaron todas las mediciones verticales y horizontales, a manera de obtener las elevaciones o niveles de los puntos de cambio de topografía y los puntos de salida convenientes para el agua, y de esta manera se determinó las rutas más factibles para el drenaje colector y se proyectaron las profundidades, pendientes y alineamientos del sistema de drenes. En las zonas de la costa se debe determinar la posición y el efecto de las mareas sobre los niveles de salida de los drenes. Esto es muy importante que de acuerdo a ello se decida la forma de desaguar el sistema.



### **3° Trabajo de gabinete**

Una vez culminados los trabajos de campo, se procesó la información de campo y se elaboró el plano de planta del área de estudio a escala 1/5000 con curvas de nivel a cada metro. En este plano se trazaron los ejes preliminares de todo el sistema de drenes proyectados, y se graficaron los perfiles longitudinales de todos los drenes que conforman el sistema con las siguientes escalas: Ev: 1/100 Eh: 1/1000.

Se contó con información complementaria, con la cual se pudo efectuar el levantamiento topográfico presentado:

- Cartas Estereo fotogramétricas del Servicio Aerofotográfico Nacional SAN, a escala 1:20,000.
- Cartas Topográficas-Catastrales de la Oficina de Catastro Rural del MINAG, a escala 1:10,000.
- Cartas Catastrales a escala 1: 10,000.

#### **3.3.2 Análisis de la permeabilidad en el terreno**

Los resultados obtenidos hicieron factible la constitución de una carta esquemática de las permeabilidades del terreno acuífero evaluado para la zona de influencia.

Sobre el Plano N° 3, se observa una zona relativamente de baja permeabilidad, cubriendo transversalmente la zona central del área de influencia, mientras que en las zonas extremas a ésta tanto aguas arriba como aguas abajo, la permeabilidad resulta de mayor grado.

Para tener una mayor eficacia en el emplazamiento de los drenes, éstos deben ser ubicados en las zonas o capas relativamente más permeables. Por esta razón y de acuerdo a los planos de Isohipsas y permeabilidad se ha considerado dividir o zonificar el área de influencia en otras zonas de acuerdo a la aplicación de los cálculos de diseño para los drenes complementarios.

### **3.3.3 Análisis de la conductividad eléctrica del agua freática**

La determinación de la salinidad del agua freática está referida a su conductividad eléctrica, estas mediciones permiten determinar en cierta medida el grado de salinidad del suelo. Los rangos de concentración y catalogación de suelos de acuerdo al "U.S. Salinity Laboratory" se presentan en el cuadro N° 3.1.

Durante los trabajos de campo se tomaron medidas de este parámetro en 17 pozos existentes y 35 calicatas ubicados convenientemente dentro de la zona de estudio. En los cuadros N° 3.2 y 3.3, se muestran dichos valores medidos en el campo, con el conductivímetro digital portátil marca "Orión", con el que también se midieron la temperatura del agua y ambiente.

Los grados de afectación del agua freática son muy variables, desde aquellas muy altas, donde al agua freática se encuentra inmobilizada por la ausencia de drenes, hasta valores relativamente moderados donde por el recambio continuo de agua, por efecto de los riegos y existiendo un sistema de drenaje aceptable que no permite la acumulación de sales.

Las características de salinidad del suelo en un sector cercano aguas arriba al área en estudio ya eran críticas con valores promedios de 1.5 mmhos/cm según al "Estudio de Diagnóstico de las Aguas Subterráneas del Valle Jequetepeque-Zaña" elaborado por el Ing. Fredesbindo Vásquez F. (año 2000),

Con la interpolación de los valores de la conductividad eléctrica medidos en los pozos existentes y calicatas excavadas, se graficaron las curvas de isoconductividad eléctrica o isosalinidad del agua freática, dentro de toda el área de influencia del estudio.

El mapa de las curvas de conductividad eléctrica permite identificar según los valores, las zonas de igual, mayor y menor salinidad de la napa freática. Este mapa permite sacar las siguientes conclusiones:

- Resulta notoria la presencia cualitativa y cuantitativa de sales en la zona del estudio.

**CUADRO N° 3.1****RANGOS DE SALINIDAD**

Salinidad Baja	(0.00-0.25 mmhos)	Buena para diferentes cultivos. Peligro de salinización de suelos muy impermeables.
Salinidad Moderada	(0.25-0.75 mmhos)	Buenas para cultivos que se adapten o toleren moderadamente la sal. Peligro de salinización de suelos impermeables
Salinidad entre Media y Alta	(0.75-2.25 mmhos)	El suelo debe tener buena permeabilidad. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal.
Salinidad Alta	(2.25-4.00 mmhos)	Sólo para plantas tolerantes y suelos permeables, donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover sales.
Salinidad Muy Alta	(4.00-6.00 mmhos)	Sólo para plantas muy tolerantes, suelos muy permeables y donde se pueden aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
Salinidad Excesiva	(más de 6.00 mmhos)	Deben tomarse precauciones para su uso (pueden usarse en suelos muy permeables y/o mezclado con agua de buena calidad).

Fuente: Estudio de drenaje agrícola y rehabilitación de suelos en el Sub - Sector de riego Santa Rosa, zonas Iglesia Vieja - San Isidro.

1 Milisiemes = 1 Milimhos = 1 mmhos

- De las curvas obtenidas se deduce que la presencia de extensiones considerables son napas freáticas salinas, ya que las sales ascienden con facilidad a la superficie por capilaridad, toda vez que el nivel freático se encuentra también cercano a la superficie.
- Cabe indicar que la conductividad eléctrica del agua freática presente en los pozos existentes actuales, contiene un valor promedio de 7.75 mmhos/cm, presentando un valor máximo de 38.6 mmhos/cm (salinidad excesiva); y un valor mínimo de 2.0 mmhos/cm; mientras que los resultados en las calicatas efectuadas se tiene un valor promedio de 17.44 mmhos/cm, obteniendo un valor máximo de 128.4 (salinidad excesiva), y un valor mínimo de 2.4 mmhos/cm. Tal como se observa en los cuadros N° 3.2 y 3.3 respectivamente.
- Esta magnitud irá decayendo paulatinamente con el lavado y uso de los suelos acorde con el funcionamiento de la red de drenaje a establecer.

### **3.3.4 Análisis de la napa freática del acuífero**

Los principales factores que influyen en la recarga del acuífero o aumento del nivel freático son:

- Infraestructura de drenaje a nivel de colectores inexistente. A ello se suma también la inexistente infraestructura de drenaje a nivel parcelario.
- Nivel freático actual elevado, inclusive para la temporada de estiaje relativa a las mediciones en el mismo lugar. Se ha detectado estratos de suelo con cal "greda" los cuales pueden haber impermeabilizado en cierto grado varios sectores de la estratigrafía en la zona de influencia.
- Durante las etapas del fenómeno El Niño 97 - 98 y los períodos posteriores consecutivos de avenidas han podido mantener aún esta recarga observada. Cabe destacar que no se cuenta con una eficiente distribución en el sistema de riego existente en el área de Influencia actual a tratar.

**CUADRO N° 3.2****VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDOS EN CAMPO  
CON EL USO DEL CONDUCTIVÍMETRO EN LOS POZOS.**

POZO	COORDENADAS		NIVEL FREÁTICO (m)	CONDUCTIVIDAD (mmS/cm)
	N	E		
P-1	9211406	656823	2.60	2.4
P-2	9211212	657000	3.80	3.0
P-3	9211256	657006	1.60	3.2
P-4	9211256	656513	2.04	3.6
P-5	9210844	655751	2.00	2.6
P-6	9211518	656249	1.07	3.0
P-7	9211742	656127	0.60	2.0
P-8	9210934	655159	0.61	2.8
P-9	9211422	655135	3.08	2.6
P-10	9212874	655659	1.00	3.0
P-11	9212906	655767	1.70	3.0
P-12	9212456	653372	1.72	7.8
P-13	9211876	654445	1.43	2.2
P-15	9212850	657130	0.75	38.6
P-16	9212440	654495	3.95	3.0
P-17	9212426	655362	0.50	43.80

Fuente: Valores obtenidos en campo, medidos con conductivímetro en 17 pozos existentes ubicadas convenientemente dentro de la zona de estudio.

**CUADRO N° 3.3****VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA OBTENIDOS EN CAMPO CON EL USO DEL CONDUCTIVÍMETRO EN LAS CALICATAS.**

CALICATA	COORDENADAS		NIVEL FREÁTICO (m)	CONDUCTIVIDAD (mmS/cm)
	N	E		
C-1	9212940	656138	0.70	-
C-2	9211718	656899	1.46	2.50
C-3	9211226	656340	1.70	3.40
C-4	9210818	656267	2.54	3.00
C-5	9210934	655885	2.50	4.00
C-6	9211442	656121	1.13	14.80
C-7	9211474	656059	1.20	2.80
C-8	9210730	655142	4.00	2.40
C-9	9211484	655406	2.00	8.30
C-10	9212158	655398	0.60	3.40
C-11	9212430	655279	0.70	128.40
C-12	9213522	654469	0.70	4.80
C-13	9212336	656940	2.00	33.30
C-14	9212754	655985	2.00	11.70
C-15	9212174	655945	1.66	7.90
C-16	9211692	654674	0.55	3.80
C-17	9211692	654674	0.74	2.60
C-18	9211684	655002	1.00	49.50
C-19	9212420	654998	2.32	3.80
C-20	9212348	654488	0.15	65.45
C-21	9212690	654089	1.98	33.10
C-22	9212336	656316	1.50	19.00
C-23	9211116	655093	1.70	2.70
C-24	9211760	654005	0.34	2.50
C-25	9211386	654120	1.45	3.00
C-26	9211562	656895	0.77	4.81
C-27	9212336	656184	1.12	17.20
C-28	9213402	655634	1.46	12.80
C-29	9213786	655619	1.68	6.40
C-30	9213070	654384	0.64	14.77
C-31	9212480	655537	0.41	19.50
C-32	9210924	655517	3.42	2.10
C-33	9212196	653991	1.22	43.70
C-34	9212502	653405	1.64	9.70
C-35	9211530	653768	2.24	3.40

Fuente: Valores obtenidos en campo, medidos con conductivímetro en 35 calicatas existentes ubicadas convenientemente dentro de la zona de estudio.

- El mal uso del agua de riego en la zona circundante exterior y predominante en el área de influencia, la cual aunada a la topografía en forma de tasa o abanico cóncavo conduciría las aguas recepcionadas en dirección Oeste produciendo de esta forma un mayor afloramiento subterráneo, sobretodo en la zona de división del abanico, por lo cual esta zona también se presta como lugar más adecuado para el trazo del dren colector.
- En la zona que forma parte de este estudio, el nivel de la napa freática es alto, como se aprecia en los cuadros N° 3.2 y 3.3. Datos con los que se elaboró el Plano de Isoprofundidad, (Ver Plano N° 5).

#### **3.3.4.1 Curvas isohipsas**

Las curvas isohipsas en el área de influencia a investigar, representan el estado general piezométrico de la napa freática durante el período Enero-Marzo 2004 (período de avenidas). En lo relacionado a la napa freática durante este periodo el nivel de las aguas subterráneas presentan diferentes cotas que van desde 24.26MSNM para el nivel más bajo y para el nivel más alto de 38.15MSNM. (Ver Plano N° 4).

Con los datos de campo y evaluaciones del nivel de agua freática se han plasmado las curvas Isohipsas correspondientes.

Con estas curvas se deduce:

- En general una relación inversamente proporcional relativa entre el nivel topográfico o relieve de la zona del área de influencia respecto a la profundidad del nivel freático del agua subterránea dentro de la misma zona.
- Frecuentemente los niveles freáticos en la zona de influencia a evaluar resultan relativamente altos en comparación con otras zonas del Valle investigadas en el Estudio: "Diagnóstico de las aguas subterráneas del Valle Jequetepeque-Chamán", Ing. Fredesbindo Vázquez F.

### **3.4 ANÁLISIS GEOLÓGICO**

En la excavación de calicatas, se encontró en la parte superficial, horizontes variables de arenas finas con algo de material orgánico, y debajo de estas capas encontramos carbonatos que en los perfiles se consideró como conglomerado gredoso, que no es más que roca que comúnmente se le conoce con el nombre de greda, de baja permeabilidad en muchos casos se le encontró a poca profundidad y debajo del nivel freático. En cambio en otras se encontró piedra de tamaño < de 15cm, gravas, gravillas y arenas, en unos casos debajo se encontró el caliche, mientras que en otros a continuación se encontró arena limosa.

Los materiales más representativos encontrados en el área, está constituida por:

#### **A.- Arenas finas**

Se encuentran conformando la superficie de toda el área, en unos casos se encuentra con vegetación; y las que no presentan vegetación tienen diferente profundidad (no pasa el metro), la coloración depende del porcentaje de materia orgánica y del contenido de salinidad, en algunas zonas, la salinidad se manifiesta como eflorescencias blanquecinas, generalmente sobre la superficie del terreno.

#### **B.- Arenas limosas**

Las arenas limosas también abundan en toda el área, y se profundizan más que las arenas finas, llegando en algunos casos a sobrepasar los 2 m de profundidad, es decir que continúa por debajo del nivel freático, que en la mayoría de los casos, se encuentran en el sector Este. Además se observa que se encuentra sobre yaciendo al caliche (conglomerado gravoso).

#### **C.- Gravas y arenas gravosas**

También su distribución se encuentra muy localizada, y se presentan como pequeños horizontes de gravilla dentro de los horizontes de arena y como horizontes de mayor potencia junto con piedra y arena, especialmente en las



partes más altas, donde han quedado por la resistencia al poder erosivo de los agentes como el agua y el viento.

#### **D.- Conglomerado gredoso (Caliche)**

El caliche es un conglomerado gredoso de color blanquecino, y es más propiamente es una roca que un suelo.

El caliche se manifestó, resistente a las labores de excavación, al parecer ligeramente impermeable, sin embargo, por tratarse de material calcáreo y por sus características geológicas, presentan zonas de fracturamiento, pequeñas galerías, zonas alteradas (greda tipo limo de color blanco) etc. que hace posible el paso del agua de la napa freática, a pesar en algunos casos la recuperación del agua en los pozos ha sido mínima.

Por alteración del material calcáreo se obtiene la separación del calcio que es un material que da la impresión de ser un limo blanco, no obstante los lugareños lo conocen como greda.

### **3.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO**

El área de estudio está enmarcada en una zona cuyas rocas más débiles han sido barridas por la erosión (en períodos más antiguos), quedando los conglomerados gredosos de color blanco (variedad de caliche), para luego ser cubiertos por procesos de sedimentación eólica y por la presencia de algunos horizontes gravosos de pequeño espesor (máximo 60cm) que son de origen aluvial; los limos encontrados mezclados con las arenas finas se debe presumiblemente a la presencia de sedimentación fluvial.

El alejamiento de las aguas del mar en el sector Norte (zona de Piura más pronunciado, como el desierto de Sechura), por un proceso epirogenético, o sea el levantamiento de las zonas marginales marinas, ha dado lugar a la presencia del caliche que se ha formado en ambiente marino de aguas relativamente tranquilas y poco profundas, y por erosión ha quedado un relieve ligeramente ondulado. Sin embargo la prueba de la existencia de un ambiente marino (Pre Pleistoceno), está evidenciado por la gran salinidad de las aguas subterráneas,

que está relacionado con la alta conductividad eléctrica. En la mayor parte de los pozos abiertos se detectó que el agua es muy salada. En lo que se refiere a la terraza no diferenciada, se caracteriza porque no se distingue la terraza presumiblemente, por la alteración del caliche provocando el derrumbamiento con el consiguiente relieve de talud inclinado.

### **3.6 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA DE DRENES PROYECTADOS**

En base al desarrollo de experiencias, y los estudios de campo efectuados durante el presente Estudio, se ha procedido a la planificación del sistema de drenaje colector y parcelario, (Ver plano N° 7).

Los drenes proyectados se distinguen en:

- 1) Dren principal (Colector):** La función es transportar el agua fuera de la zona del problema. Este dren colector, que se ha proyectado uno para el presente estudio, se denominará colector principal o prioritario.
- 2) Drenes complementarios:** Tienen como función recoger el agua de los drenes de parcela para transportarla a los drenes principales. En el presente estudio se han proyectado cuatro drenes complementarios los cuales atraviesan las áreas afectadas por sales de diverso grado.
- 3) Drenes subcomplementarios:** Son análogos a los drenes complementarios con la diferencia de que conducen el flujo hacia el dren complementario. Se han proyectado cinco drenes subcomplementarios.
- 4) Drenes parcelarios:** Tienen como función controlar la profundidad del agua freática y generalmente se disponen en forma paralela. Se deben ejecutar en conjunción con las parcelas o áreas de riego a considerarse de influencia para un buen funcionamiento del sistema.

## CAPITULO IV

### **APLICACIÓN DEL USO DE GEOSINTÉTICOS EN EL DRENAJE AGRÍCOLA**

#### **4.1 MATERIALES SINTÉTICOS**

Se denominan materiales sintéticos a aquellos que son elaborados por procesos industriales. Generalmente éstos son una síntesis química que reproduce las características naturales de otros materiales, tanto en su composición como en sus propiedades según sea conveniente. En el campo de la ingeniería se trabaja con los geosintéticos.

##### **4.1.1 Polímeros**

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de la forma más diversa.

En general, los polímeros presentan una excelente resistencia mecánica debido a su fuerza de atracción intermolecular, que dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. En el cuadro 4.1 representamos

##### **1) Polietileno (PE)**

Es un polímero formado por varias moléculas de etileno (- CH<sub>2</sub> - CH<sub>2</sub> -) con el se fabrican materiales termoplásticos que posee buenas propiedades mecánicas, de gran inercia química, de excelente aislamiento eléctrica, como geomembranas, tuberías, piezas especiales, planchas, etc.

##### **2) Polipropileno**

Es un polímero termoplástico, que se obtiene de la polimerización del propileno. Es utilizado en la fabricación de geotextiles, geomembranas, geomallas y geocompuestos, presentan una buena resistencia térmica, eléctrica, a la abrasión y al impacto.

**CUADRO N° 4.1**  
**ESTRUCTURAS DE LAS MOLÉCULAS DE ALGUNOS DE LOS**  
**PRINCIPALES POLÍMEROS SINTÉTICOS**

NOMBRE	FÓRMULA
POLIETILENO	$\left[ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \right]_n$
POLIPROPILENO	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH} - \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$
CLORURO DE POLIVINILO POLI (cloruro de vinilo) (PVC)	$\left[ \begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \end{array} \right]_n$
POLIACRILATO DE METILO	$\left[ \begin{array}{c} \text{O} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{C} = \text{O} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \end{array} \right]_n$
POLIMETACRILATO DE METILO	$\left[ \begin{array}{c} \text{O} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{C} = \text{O} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$

### **3) PVC**

El PVC es un polímero que se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo. Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos.

#### **4.1.2 Los geosintéticos**

Los geosintéticos son materiales, que se fabrican a partir de varios tipos de polímeros, con las cuales se mejora considerablemente los trabajos de ingeniería civil, obteniéndose mejores opciones económicas.

Se pueden clasificar según el tipo de material en:

##### **1) Geotextiles**

Son materiales compuestos por polímeros, de textura rugosa, porosa, plana y permeable, formada de filamentos sintéticos continuos tejida o no, de altos valores de resistencia y durabilidad.

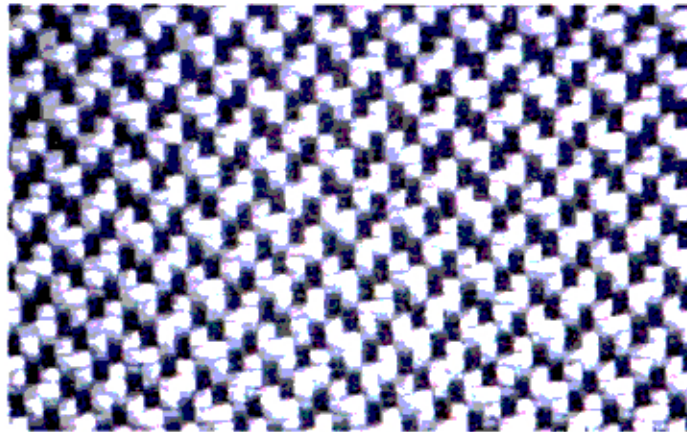
Los geotextiles son aplicados en proyectos de subdrenajes, estabilización de taludes, pavimentaciones y estabilización de suelos. Los geotextiles generalmente son clasificados según su proceso de fabricación como:

##### **Geotextiles tejidos**

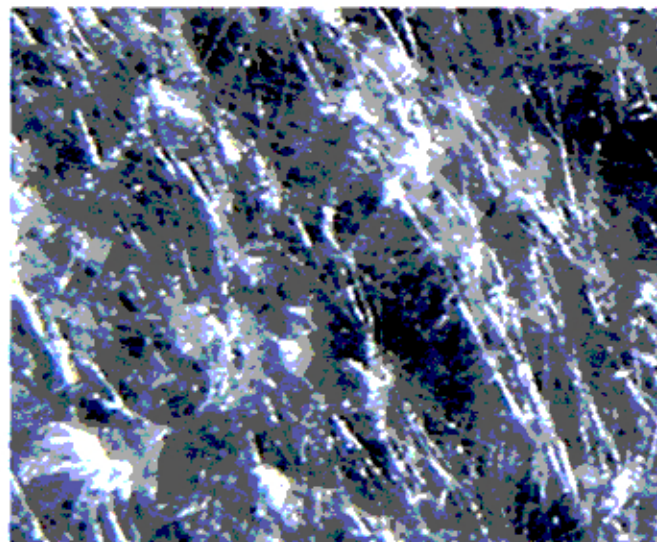
Se producen a partir de hilos trenzados de distintas formas. Los hilos pueden ser de múltiples filamentos o de un solo filamento. Las telas tejidas tienen por lo general una elevada resistencia a la tracción y alargamiento. Ver Figura N° 4.1.

##### **Geotextiles no tejidos**

Son típicamente muy permeables y tienen altas características de elongación. Son estructuras laberínticas, con una distribución de diversas aberturas. Ver Figura N° 4.2.



*Fig N° 4.1.- Geotextil tejido*



*Fig N° 4.2.- Geotextil no tejido*

## 2) Geoceldas

Las geoceldas son estructuras en forma de panal con celdas entre 75 y 100mm de ancho, hidráulicamente interconectadas, hechas mediante un proceso de extrusión de polietileno (PE) íntegramente continuo.

Las Geoceldas son aplicadas en proyectos de revestimiento de canales, control de erosiones superficiales y soportes de cargas. Ver Figura N° 4.3 y 4.4.

## 3) Geored

Están compuestas por una estructura de tres dimensiones de capas y filamentos paralelos entrelazados que crean canales de gran capacidad de flujo. Son producidos por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) y son resistentes a agentes químicos y biológicos que normalmente presentan el suelo y los desechos. Ver Figura N° 4.5.

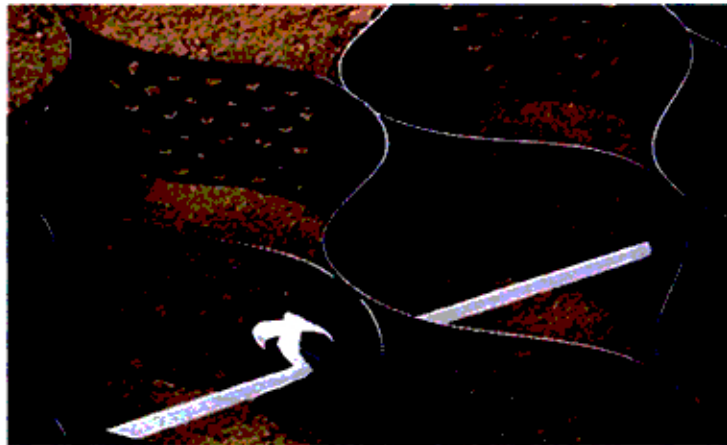
## 4) Geomallas

Son elementos fabricados a base de polímeros, de hilos de mono o multifilamento; son biológicamente inertes, resistentes a procesos degenerativos de los suelos. Las funciones principales de las geomallas son la de brindar refuerzo y una buena estabilidad superficial.

Las geomallas son aplicadas para la estabilización de taludes, gaviones, obras marinas, terraplenes y otros. Ver Figura N° 4.6.

## 5) Geomembranas

Este tipo de material sintético está fabricado con resinas de polietileno y por diferentes tipos de resinas como; caucho sintético, polipropileno, clorosulfurado, cloruro de polivinilo, polietileno de alta, media y de baja densidad.



*Fig N° 4.3.- Geoceldas*



*Fig N° 4.4.-Revestimiento de talud de canales con geoceldas.*



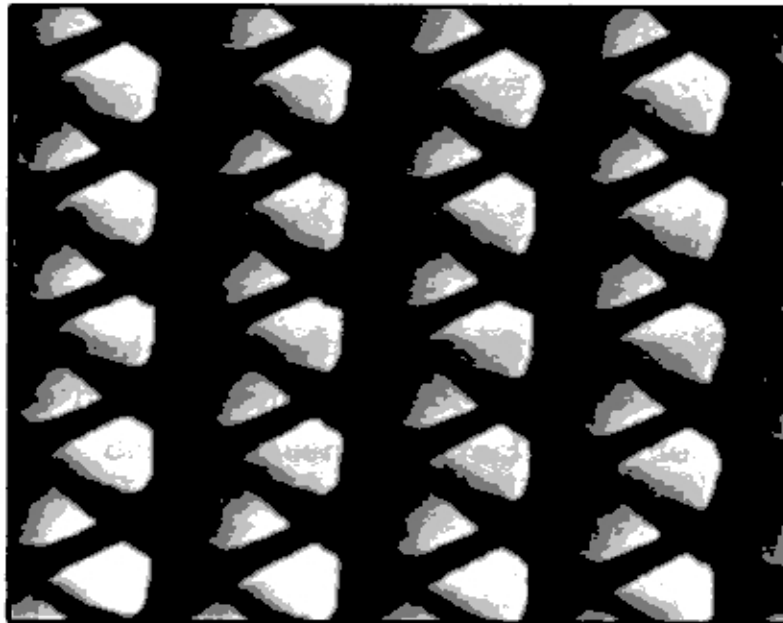


Fig N° 4.5.- Geored.-

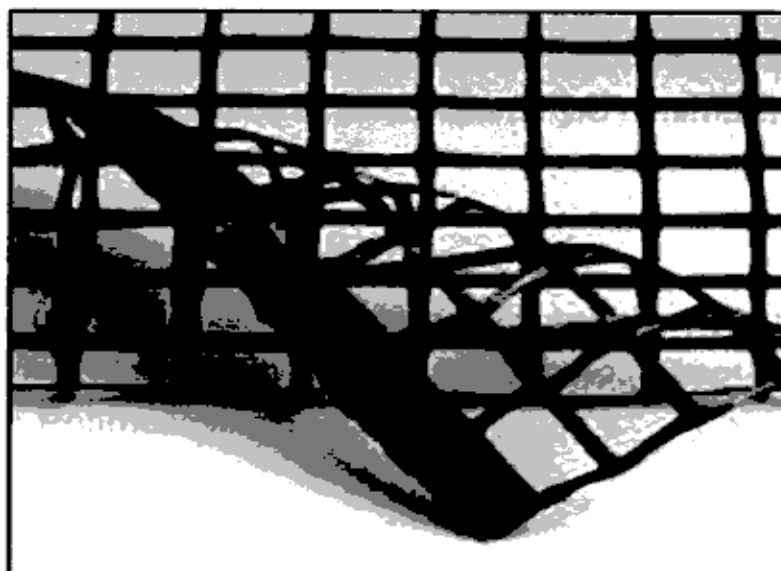


Fig N° 4.6.- Geomalla.-

Tiene como función principal mantener la impermeabilidad en las obras, y es aplicado principalmente en manejo de desechos sólidos, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, minería – riego, reservorios, proyectos hidráulicos, canales de conducción. Ver Figura N° 4.7.

## **6) Geotubos**

El geotubo es un contenedor fabricado con geotextil lleno de arena o material de drenaje; es permeable al agua pero impermeable al paso del material del suelo, de excelentes características físicas y mecánicas. Funciona como muros altamente flexibles, y es aplicado en el control de inundaciones o desbordamientos, crecientes de ríos, mareas altas, rompeolas. Ver Figura N° 4.8.

## **7) Geocompuestos**

El objetivo de los materiales geocompuestos, es combinar los mejores rasgos de materiales diferentes, de tal manera que se resuelva un problema específico en forma óptima.

En algunos casos puede ser más ventajoso usar un material no-sintético con uno sintético para un comportamiento óptimo y/o minimizar los costos.

Los geocompuestos pueden ser:

Compuestos de Geotextil – Geored, Geotextil – Geotubo, Geotextil – Geomembrana, Geomembrana – Geomalla, Geotextil – Geomalla, Geotextil con Polímeros, etc.

Las funciones básicas de un geocompuesto son:

Separación, refuerzo, filtración, drenaje y contención, siendo habitualmente una combinación de dos o más de éstas. Ver Figura N° 4.9.



Fig N° 4.7.- Geomembrana



Fig N° 4.8.- Geotubo



Fig N° 4.9.- Geosintético

## **4.2 SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS**

En las zonas agrícolas de climas áridos y semiáridos, existen desbalances provocados por las actividades humanas, por ello es necesario la existencia de un balance en la relación agua/suelo/planta y en el manejo de cada uno de sus constituyentes, como en el caso de la salinidad en el suelo, para no incrementar las condiciones de agresividad a las cuales están sometidas las plantas y todos los materiales expuestos a dichos ambientes.

### **4.2.1 Suelos salinos**

Generalmente se da en las zonas de riego, y es causada por el alto contenido de sales de las aguas superficiales que al evaporarse, estas sales quedan acumuladas en las depresiones de las capas superiores del suelo, como se muestra en la figura N° 4.10, además los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas estas sales ascienden a través del suelo por capilaridad. Ver figura N° 4.11

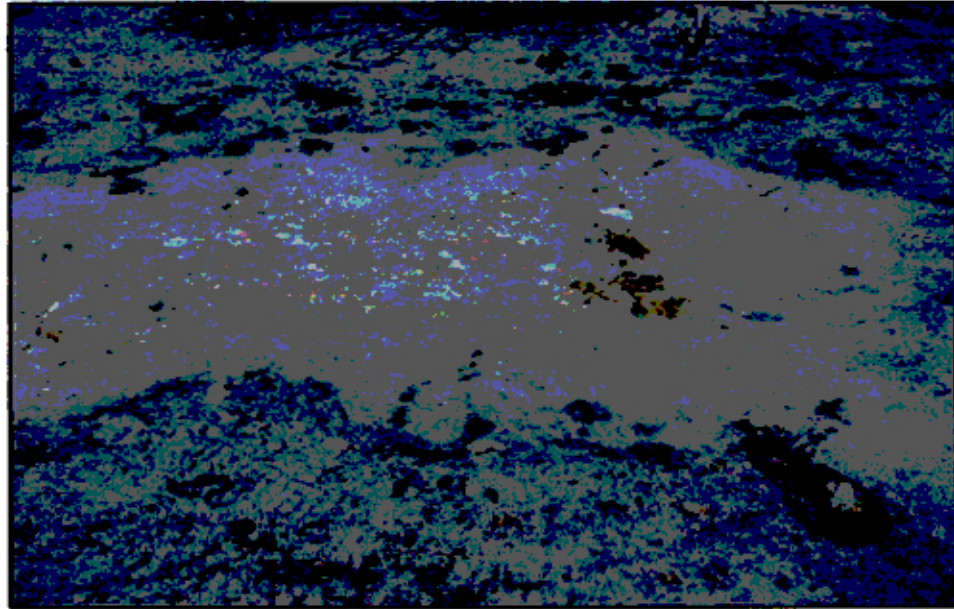
La determinación de la salinidad del agua freática está referida a su conductividad eléctrica, que indica el grado de salinidad del freático superficial.

## **4.3 LAS SALES EN CONTACTO CON EL MATERIAL GEOSINTÉTICO**

Los drenes subterráneos se encuentran expuesto a todos los materiales orgánicos y sales que contienen los suelos y los mantos freáticos, es por ello que los materiales geosintéticos son altamente resistentes al deterioro progresivo ocasionado por agentes químicos. La degradación físico-química por contacto directo con suelos y químicos no representa un problema de gran importancia.

### **4.3.1 Las sales en contacto con geotextil**

Los geotextiles usados para el drenaje agrícola estarán expuestos al contacto con las sales existentes en los suelos, por ello presentan en su composición, materiales resistentes a las diferentes sales y sustancias químicas.



*Fig. N° 4.10.- Se observan las acumulaciones de sales en un área de cultivo en abandono totalmente salinizado, situado dentro de la zona de estudio.*



*Fig. N° 4.11.- Napa freática expuesta a la superficie. El color verdoso del agua nos indica el alto contenido de sales las mismas que se transforman en costra blanca sobre la superficie del suelo.*

En las figuras N° 4.12 y 4.13 se observa como las sales se cristalizan por completo en toda la superficie de una muestra de geotextil, sin embargo, no se advierte alteración química del geosintético, tales como desintegración, fisura, o cambio de color, etc. Observamos también que estas muestras mantienen sus propiedades de permeabilidad.

#### **4.3.2 Las sales en contacto con el tubo de PVC**

La resistencia de los tubos de PVC frente a las sales y otros agentes químicos viene determinada por las propias características de las materias primas con las que están fabricadas. No sufren ninguna alteración cuando están instalados en contacto con materiales agresivos, como el agua del mar, terrenos salinos o ácidos, así como vertidos urbanos e industriales.

#### **4.4 DRENES SUBTERRÁNEOS SEGÚN MATERIALES QUE CONFORMAN SU COMPOSICIÓN.**

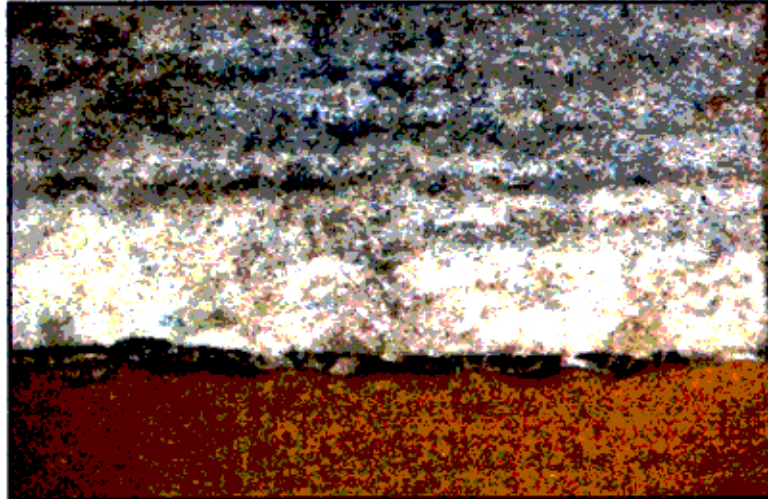
En 1922, Terzaghi desarrolló criterios para el diseño de filtro para controlar la filtración debajo de una presa. Estos criterios han sido aplicados desde entonces para el diseño de las estructuras envolventes de drenes subterráneos. Terzaghi recomendó que el material de filtro sea muchas veces más permeable que la del material conformado por el suelo, pero que a la vez esta envolvente no tenga partículas tan gruesas que permitan el paso del material del suelo en su intermedio.

El trabajo desarrollado por Terzaghi ha servido como base de los trabajos hechos en el diseño de la estructura envolvente para drenes, aunque algunos criterios han sido modificados. Sus conceptos originales han sido aceptados.

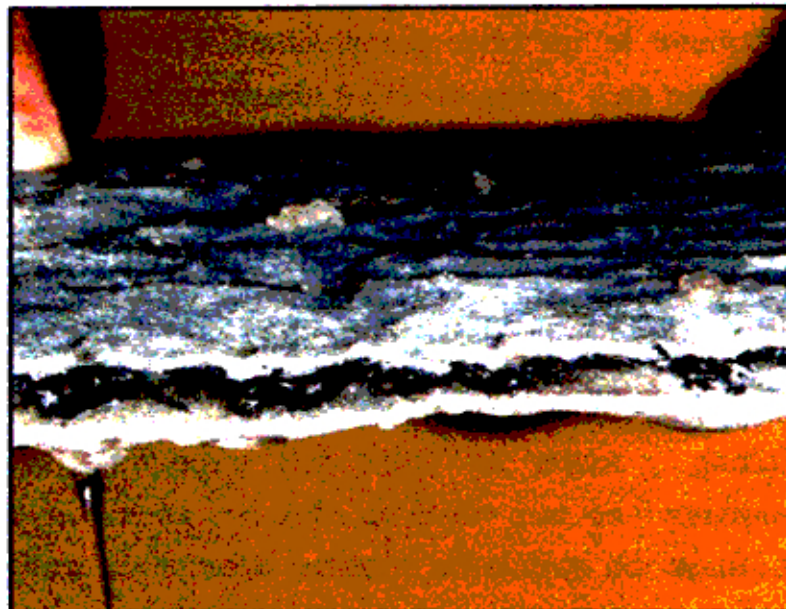
Tipos de drenes subterráneos según su composición:

##### **1) Dren ciego o dren francés**

Dren subterráneo de poca profundidad, en cuya parte inferior de la zanja queda completamente rellenas de grava, dentro de las cuales circula el agua



*Fig. N° 4.12.-Geocompuesto expuesto a condiciones extremas de salinidad, vemos como se han cristalizado sus orificios que es donde se acumulan las partículas salinas.*



*Fig. N° 4.13- Se observa que el geocompuesto no ha sufrido fisura o desintegración de sus componentes, ni obstrucción total de sus poros ya que mantiene su propiedad permeable.*

que proviene directamente de las superficies de drenaje. Ver figura N° 4.14. Este tipo de dren ha sido utilizado en diversos países con buenos resultados, aunque no por largo tiempo debido a la acumulación entre sus espacios vacíos, de materiales finos transportados por el agua en suspensión.

## **2) Dren de grava**

Constituido por una zanja rellena de material filtrante, gravilla conformada por partículas duras, recias o trituradas; libres de piedra desintegrada, sales, álcalis, materia orgánica, con bajo contenido de finos. Estos filtros son elaborados siguiendo las normas respectivas de diseño. Ver figura N° 4.15.

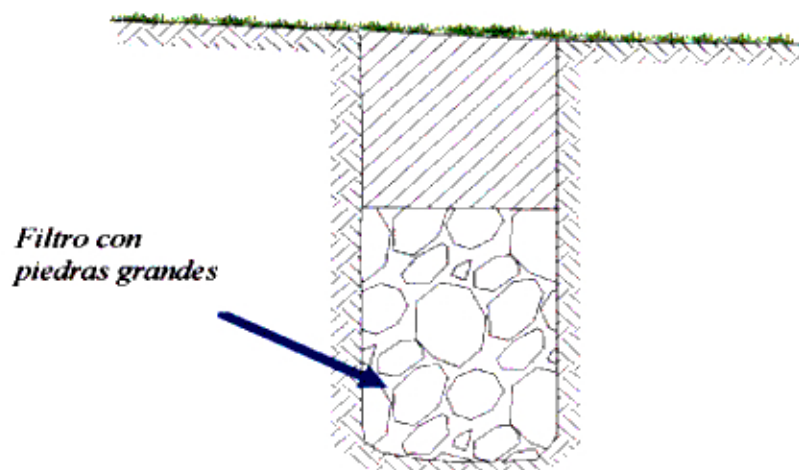
## **3) Dren subterráneo con tubería perforada**

Estos drenes consisten de zanjas rellenas de material filtrante ajustada a las dimensiones especificadas en los diseños, adecuadamente compactado, con tubos perforados y flexibles colocado en el interior del filtro, para transportar el agua interceptada fuera de estos. Las perforaciones del tubo deben ser cuadradas (ranuras de 1cm de lado) o redondas (de  $\Phi=3/8''$ ), pero bien determinadas y sin que afecten la resistencia del tubo. Ver figura N° 4.16.

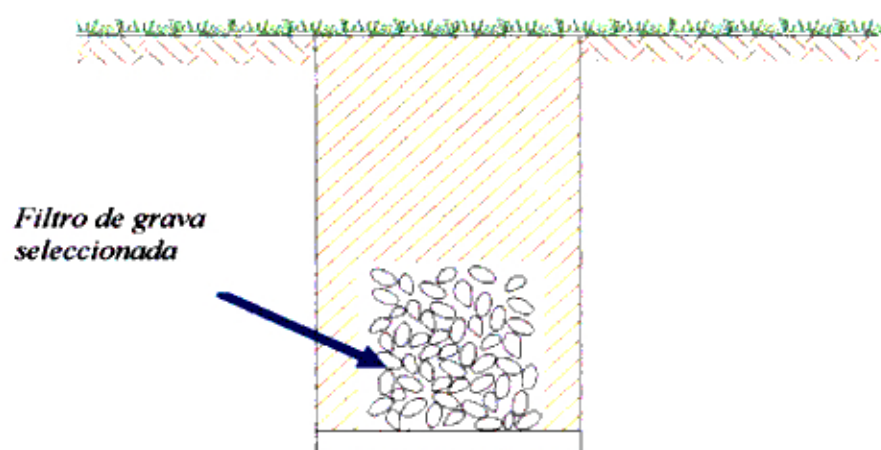
## **4) Dren subterráneo con filtro envolvente.**

Son aquellos compuestos por filtros de grava y geotextiles, puestos alrededor de los drenes con el fin de evitar que los materiales de grano fino en el suelo circundante sean llevados en el dren por agua subterránea que poseen dos características importantes que se requieran para ello, permeabilidad de agua y retención de la partícula del suelo. Por otra parte, facilitan la captación de agua de la tubería y transportan el agua en su plano, junto a la pared del tubo. Ver figura N° 4.17.

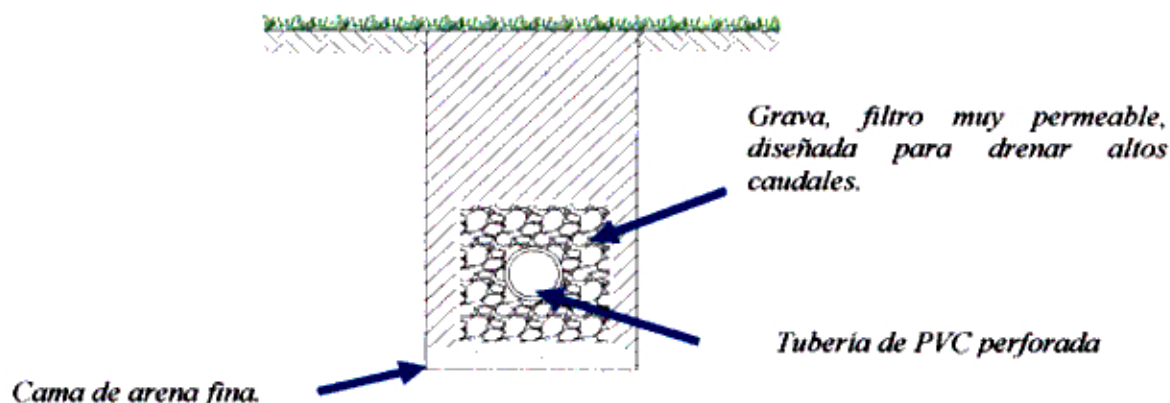




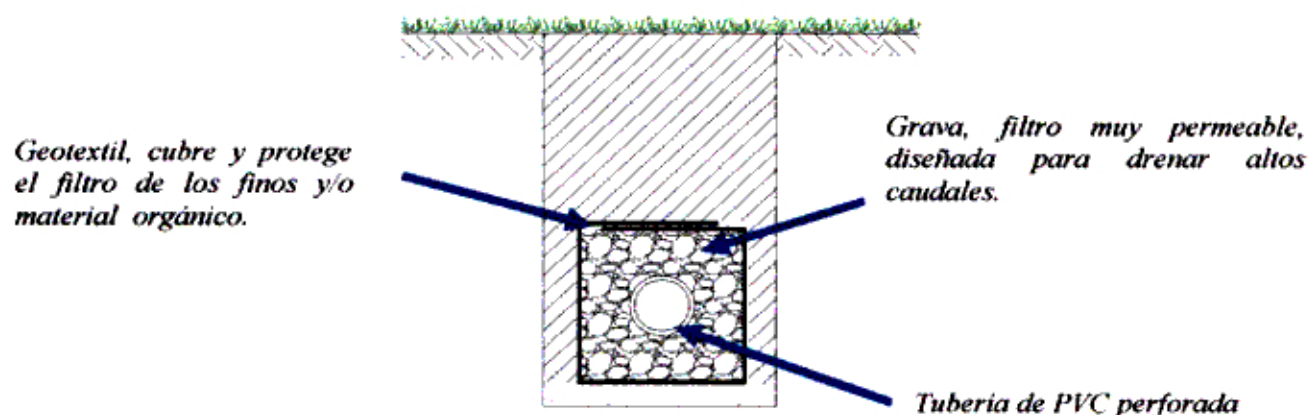
**Fig N° 4.14.- Dren Francés, conformado por piedra grande sin tubo. Utilizado con buenos resultados, aunque no operaban por mucho tiempo.**



**Fig N° 4.15.- Dren de Grava, el material de filtro es elaborado con grava graduada y seleccionada con una mejor eficiencia de evacuación.**



**Fig N° 4.16.- Dren Subterráneo con tubería perforada, utilizada por muchos años en el drenaje agrícola, con buenos resultados aunque al cabo de los años pierde su eficiencia debido a la acumulación de finos en sus poros.**



**Fig N°4.17.- Dren Subterráneo con filtro envolvente, conformado por grava graduada, geotextil y tubería perforada. Este sistema es utilizado con éxito debido a su excelente capacidad de drenaje y total protección de finos.**

## 5) Dren subterráneo con geocompuestos.

Se propone aplicar el sistema de drenaje con geocompuestos para el drenaje agrícola, para ello usamos el geocompuestos Mac Drain como elemento principal.

**Mac Drain;** es un geocompuesto conformado por tres elementos básicos: **Drenante**, que capta y conduce las aguas de infiltración/precolación, saneando el suelo; el **filtrante**; que impide el arrastre de las partículas de suelo para el interior de la tubería y un **colector**; que conduce el agua drenada para la descarga. Ver figura N° 4.18 y 4.19.

## 4.5 USO DE TUBERÍAS DE MATERIAL SINTÉTICO

En 1959 aparecieron los drenes de plástico, cuya aplicación se ha ido extendiendo y modernizando a través de los años.

La gran mayoría de tuberías utilizadas para drenaje tanto agrícola como en carreteras son de PVC, por su flexibilidad, ligereza y alta resistencia.

Estas tuberías son perforadas para drenar las aguas subterráneas; pueden ser lisos o corrugados. La tubería corrugada ha sido sometida a diferentes procesos de deformación mecánica que le da una apariencia de "espiral", haciéndolas más resistente a la presión del terreno.

### 4.5.1 Características de la tubería de PVC

- **Flexibilidad y resistencia mecánica.-** presenta un excelente comportamiento ante cargas vivas y muertas, comparado con los materiales tradicionales, pudiendo resistir cargas de hasta  $140 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual le permite ser alojada a las profundidades de proyecto sin problema alguno. Además es muy resistente a golpes lo cual hace manejable en obra.

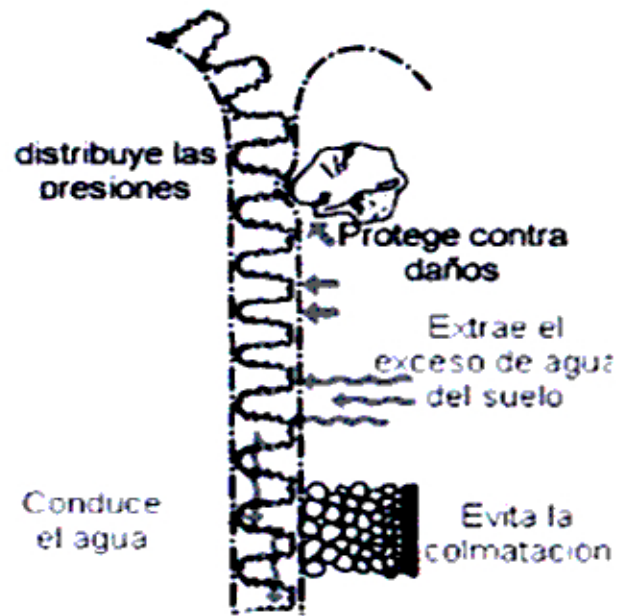


Fig N° 4.18.- Geocompuestos, conformado por dos paredes de geotextil y un drenante en la parte central.

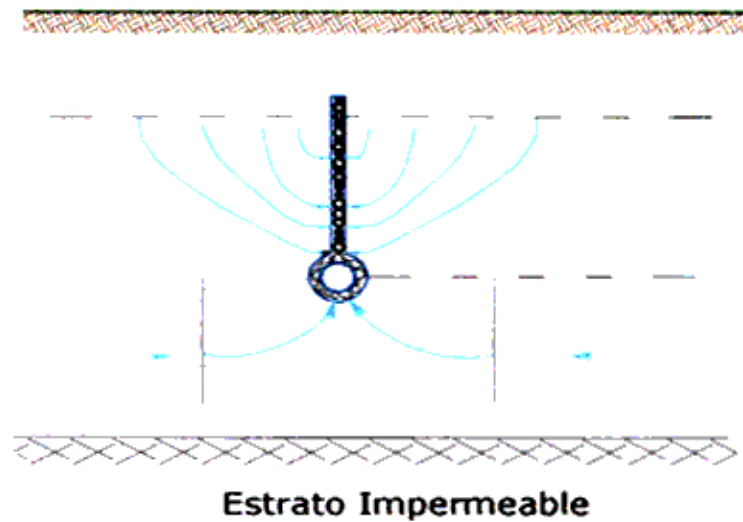


Fig N° 4.19.- Comportamiento del geocompuesto Mac Drain, aplicado al drenaje agrícola

- **Baja rugosidad.**- Coeficiente de rugosidad de Manning de 0.009, lo que significa una mayor eficiencia hidráulica.
- **Mayor vida útil.**- No se ve afectada por la agresividad de los suelos. No permite la entrada de raíces y las sustancias contaminantes que traen las aguas según sea el caso.

#### **4.5.2 Limitaciones en el uso de tubería de PVC.**

- A temperaturas menores a 0° C el PVC reduce su resistencia al impacto, y a temperaturas mayores de 25° C, disminuye su resistencia a la tracción.
- La tubería no debe quedar expuesta por periodos prolongados a los rayos solares, pues esto pudiera alterar sus propiedades mecánicas.
- La tubería de PVC es susceptible al daño al contacto con elementos punzo cortantes.

#### **4.5.3 Diferencias entre los materiales de PVC y HDPE:**

El PVC y el HDPE tienen diferentes propiedades mecánicas y físicas, así como también, diferencias en su aplicación. Algunas de estas se muestran en el cuadro N° 4.2.

#### **4.5.4 Cálculo teórico de las presiones actuantes sobre la tubería.**

El cálculo y diseño de tuberías enterradas se realiza normalmente mediante fórmulas aproximadas o métodos semi empíricos.

Para el presente trabajo se empleará la ecuación de Marston para determinar las cargas actuantes sobre la tubería.

**CUADRO N° 4.2**

**CUADRO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS  
 DE LAS TUBERÍAS DE HDPE Y PVC**

<b>HDPE.-</b>	<b>PVC</b>
Son duras y no-flexibles	Son flexibles y relativamente fáciles de manipular
Tienden a exhibir un punto máximo, demasiado alto en su curva de resistencia a la deformación y por lo tanto, pueden sufrir una falla relativamente abrupta,	Es sometido a una gran cantidad de elongación antes de fallar.
HDPE, sin embargo, todavía necesitan ser unidas en terreno	Debido a su flexibilidad, es posible realizar la mayoría de las uniones del PVC bajo condiciones-controladas en la planta de elaboración debido a que se pueden doblar fácilmente.
Un revestimiento de HDPE requiere de una gran cantidad de material	Un revestimiento de PVC puede requerir hasta un 20 por ciento menos de uniones en terreno que las que requiere un revestimiento de HDPE

#### 4.5.4.1 Ecuación de Marston

Marston en el año 1913, publicó los resultados de su trabajo de cargas sobre conducto y/o estructuras enterradas; de lo que se pueden decir que las estructuras bajo estas condiciones están influenciadas por:

- 1.- El asentamiento del suelo relacionado con el conducto;
- 2.- El asentamiento del suelo colocado a los lados del conducto.

Estos asentamientos a la vez están influenciados por el asentamiento del lecho original y los lados adyacentes, el ancho de la zanja, la clase del material del lecho, el apisonamiento del terraplén, la flexión del conducto, y otros factores. Las presiones naturales del material de relleno contra los lados de la zanja crean una resistencia por fricción que ayudan a soportar parte del peso.

Debido que estas zanjas no son tan anchas, en este trabajo utilizaremos la ecuación de Marston para zanjas angostas. Se tiene la siguiente ecuación para calcular las cargas sobre tubos.

$$W_c = C_d w B_d^2$$

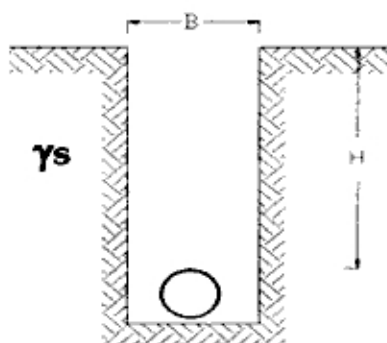
$W_c$  = Peso total sobre el tubo en lbs por pie lineal.

$W$  = Peso del material.

$B_d$  = Ancho de la zanja, en la parte superior del tubo.

$C_d$  = Coeficiente de carga, cuyos valores aproximados aparecen en la tabla.

$C$  = Coeficiente de las cargas sobre tubos en zanja



El análisis se hará para la tubería que se encuentre en la condición más perjudicial, por lo cual se puede trabajar con los siguientes datos en campo:

$$\gamma_s = 2145 \text{ Kg/m}^3; \quad \gamma_s = 133.91 \text{ Lb/Ft}^3$$

$$H_s = 2.25\text{m} \quad ; \quad H_s = 7.38\text{Ft.}$$

$$B = 0.80\text{m}; \quad B = 2.62\text{Ft.}$$

$$H/B = 2.8125$$

→ Del cuadro N° 4.3 obtenemos

$$C_d = 1.9075$$

Aplicando la ecuación de Marston obtenemos:

$$W_c = C_d w B_d^2$$

$$W_c = 1.9075 \times 133.91 \times (2.62)^2 = 1753.397 \text{ lb/Ft}$$

$$\rightarrow W_c = 2609.33 \text{ kg/m}$$

## 4.6 USO DE LOS GEOTEXTILES COMO ELEMENTO DE FILTRO

### 4.6.1 Filtro envolvente del dren

#### 1) Elemento de filtro

El filtro es una sustancia porosa que tiene la finalidad de separar e impedir el ingreso de toda materia en suspensión existente en un gas o un líquido que pasa a través de ella.

#### 2) Elemento permeable

Este material debe tener la capacidad de dejar pasar un flujo entre sus poros, el tamaño de sus poros deben ser lo suficientemente grande como para no estorbar el paso de un líquido a través de él.



**CUADRO N° 4.3****VALORES APROXIMADOS DE "C"  
COEFICIENTE DE LAS CARGAS SOBRE LAS ZANJAS.**

<b>Relación H/B</b>	<b>Para suelo Saturado</b>
0.5	0.47
1.0	0.86
1.5	1.21
2.0	1.51
2.5	1.77
3.0	1.99
3.5	2.18
4.0	2.35
4.5	2.49
5.0	2.61
5.5	2.72
6.0	2.81
6.5	2.89
7.0	2.95
7.5	3.01
8.0	3.06
8.5	3.10
9.0	3.14
9.5	3.18
10.0	3.2
11.0	3.25
12.0	3.28
13.0	3.31
14.0	3.33
15.0	3.34
$\alpha$	3.38

Fuente: James N. Luthin ("Drenaje de Tierras Agrícolas" Pág. 352)

### **3) Envoltentes del dren**

Los envoltentes de los drenes, tienen la tarea de mejorar la permeabilidad alrededor de la tubería, así como también impedir el ingreso en cantidades perjudiciales de partículas pequeñas del suelo y materia orgánica, suspendidas en el agua que se mueve hacia la tubería de drenaje. Haciendo un diseño e instalación correcta de los envoltentes se tendrá todo el flujo cargada de partículas pequeñas pasando a través de él sin causar perjuicio.

#### **4.6.2 Tipos de filtro envoltente del dren**

Existen diversos tipos de materiales que son y han sido usados para la elaboración de los envoltentes; ya que anteriormente se usaba cualquier material permeable y económico para estos fines. Aunque con el tiempo estos materiales han ido evolucionando, podemos hablar de tres categorías:

##### **1) Envolturas de material granular**

Están conformadas principalmente por arena gruesa, gravilla y piedra chancada, las cuales son colocadas debajo y alrededor del dren durante la instalación. Estos tipos de material para los envoltentes pueden ser muy confiables por ser de buen volumen que funciona bien tanto hidráulicamente como mecánicamente, incluso mejor que el suelo. Este material deberá ser conformado por grava bien graduada, homogénea, libre de arenas, limos, arcillas y material orgánico que pudiera afectar su permeabilidad.

Se sabe que el material gravoso en las envolturas para filtro es el mejor y más confiable debido a sus propiedades para el sistema de drenaje, pero debido a su alto costo, tanto de diseño como de instalación, se vio por conveniente realizar el estudio del diseño con materiales sintéticos.

##### **2) Envoltentes orgánicos**

Varios de estos materiales están conformados por elementos provenientes

de productos agrícolas, como: residuos de cereal, cáscara de arroz, bambú, residuos de maíz, hojas de cedro, coronta de choclo y otros. Estos han sido aplicados satisfactoriamente como envolventes para filtro en los sistemas de drenaje. Debido a sus características volumétricas y alta capacidad de retenciones de partículas pueden ser utilizados como impermeable y material de filtro.

En el Nor Oeste de Europa (Bélgica, Alemania y los países Bajos), el material orgánico más común utilizado para este tipo de envoltente era hecho de fibras de coco; este tipo de material ha sido aplicado por décadas hasta fines de los años cincuenta. Se descubrió que estas fibras estaban sujetas a un decaimiento microbiológico; lo que hacía que la envoltura sufriera una descomposición de las sustancias orgánicas al cabo de unos 4 a 5 años, los que permiten que las partículas se atasquen entre sí disminuyendo su propiedad permeable.

El rápido deterioro de las fibras de coco estimuló la investigación para el uso de materiales sintéticos como alternativas.

### **3) Envolventes de geotextiles**

El geotextil puede ser usado como un envoltente protector para la tubería de drenaje, ya que posee dos importantes propiedades que son requeridas para esta estructura que son la permeabilidad y la retención de partículas finas (sedimento).

En países como Francia, Canadá, Estados Unidos, los geotextiles han sido utilizados satisfactoriamente a grandes escalas.

Comparados con los filtros de suelos convencionales, los geotextiles ofrecen ventajas al proporcionar un envoltente constante y continuo, reducción de la excavación, construcción simplificada de mayor calidad también una reducción sustancial en los costos del material.

### **4.6.3 Criterios de diseño de los geotextiles**

Para el diseño de los geotextiles con fines de drenaje, se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:

#### **4.6.3.1 Criterios mecánicos**

Para fines de drenaje, no es de mucha importancia que el geotextil tenga que pasar por estrictos ensayos de resistencia, sin embargo, el geotextil debe ser un material resistente a las cargas a las que serán expuestas. Ver cuadro N° 4.4 y 4.5.

##### **1) Resistencia**

La resistencia de los geotextiles depende de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación.

##### **2) Compresibilidad de un geotextil**

La compresibilidad es la variación del espesor de un material debido a una presión normal, ésta decrece a medida que el material sea poroso. El geotextil debe ser un buen compresor sin disminuir la capacidad de permeabilidad y de conductibilidad de agua del material.

##### **3) La abrasión**

El Geotextil estará expuesta a choques y frotaciones con otros materiales, como el suelo y la grava, desde el momento de su instalación, cualquier rajadura o aberturas, debido a la abrasión, descubiertas antes de su instalación, deberá ser arreglado en campo; aunque no es probable que esto ocurra en el momento de la instalación, porque este momento es corto.

##### **4) Elongación**

El Geotextil será envuelto al tubo dren, manualmente o mecánicamente; por lo tanto, se requiere cierta fuerza de elongación. Dierick (1994) propuso una

**CUADRO N° 4.4****REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL  
GEOTEXTIL**

Propiedad	Norma de ensayo	Valor mínimo promedio por rollo (VMPR)	Valor mínimo promedio por rollo (VMPR)
Elongación medida según ensayo	INV E-901	Elongación > 50%	Elongación < 50%
Resistencia a la tensión (Grab)	INV E-901	700 N	1100 N
Resistencia al punzonamiento	INV E-902	250 N	400 N
Resistencia al rasgado trapezoidal	INV E-903	250 N	250 N
Resistencia al estallido (Mullen Burst)	INV E-904	1300 kpa	2700 kpa

**CUADRO N° 4.5****REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL  
GEOTEXTIL**

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	Valor mínimo promedio por rollo (VMPR)		
		Porcentaje de suelo pasa tamiz No. 200 (0.075 mm)		
		< 15	15 a 50	>50
Permitividad	INV E-905	0.5 s <sup>-1</sup>	0.2 s <sup>-1</sup>	0.1 s <sup>-1</sup>
Tamaño de abertura aparente	INV E-907	0.43mm (Tamiz 40)	0.25mm (Tamiz 60)	0.22mm (Tamiz 70)
Estabilidad ultravioleta	INV E-910	50% después de 500 horas de exposición		

Fuente: Robert M. Koerner ("Designing with geosynthetics")

fuerza de elongación de 6kn/m, determinada según la prueba elongación (ISO 10319, 1996 del EN). Esta se calcula estirando la muestra hasta que la elongación de ella cause una ruptura.

#### 4.6.3.2 Criterios hidráulicos

Para los fines de drenaje los requerimientos hidráulicos son las propiedades hidráulicas y de filtración del geotextil.

##### 1) Aberturas

El tamaño de abertura aparente (AOS  $O_{95}$ ) y la permeabilidad del geotextil se establecen según las condiciones del proyecto.

Se recomienda por filtración:

$$D15_{(f)} \leq 5 D85_{(s)}$$

$$D15_{(f)} \leq 20D15_{(s)}$$

$$D50_{(f)} \leq 25D50_{(s)}$$

Se recomienda para Permeabilidad:

$$D15_{(f)} \geq 5 D15_{(s)}$$

Donde:

$O_{95}$ : Tamaño aparente de la abertura del geotextil.

$D(i)_f$ : Tamaño de partícula del filtro correspondiente al  $i$  %.

$D(i)_s$ : Tamaño de partícula del suelo correspondiente al  $i$  %.

##### 2) Porosidad

Se define como la relación del volumen de vacíos respecto al volumen total. Generalmente la porosidad del geotextil es calculado utilizando sus características propias aplicadas en la siguiente formula:

$$n = 1 - \frac{m}{\rho t}$$

Donde:

- n = porosidad
- m = masa por unidad de área (gr/m<sup>2</sup>)
- ρ = densidad (gr/m<sup>3</sup>)
- t = espesor del tejido (m)

### 3) Permeabilidad

Es la propiedad del geotextil de dejar pasar el flujo a través de las aberturas de sus tejidos.

$$k = C (D_{10})^2$$

**Caudal de flujo:**

$$q = k i A; \quad q = k \frac{\Delta h}{t} A$$

Tenemos la permeabilidad en función del caudal

$$\frac{k}{t} = \frac{q}{\Delta h A} \quad ; \quad \Psi = \frac{k}{t} \quad \text{Transmisibilidad}$$

**Permeabilidad permitida:**

$$\Psi_{req.} = \Psi_{ur} \left( \frac{1}{RF_{SCB} + RF_{CR} + RF_{IN} + RF_{CC} + RF_{BC}} \right)$$

Donde:

- RF<sub>SCB</sub> = Factor de reducción por obstrucción del suelo en los orificios.
- RF<sub>CR</sub> = Factor de reducción de arrastre hacia los espacios vacíos.
- RF<sub>IN</sub> = Factor de reducción de los materiales en contacto con los espacios vacíos del geotextil.
- RF<sub>CC</sub> = Factor de la reducción por obstrucción química.
- RF<sub>BC</sub> = Factor de la reducción por obstrucción biológica.

### 3) Retención de sólidos

Los geotextiles son fabricados con aberturas suficientemente pequeñas para prevenir el paso de material fino através de él, generando una estructura de fundición estable.

Hay varias fórmulas aptas para el diseño de retención, donde las partículas de suelo se comparan al tamaño aparente de las aberturas del geotextil, definida como  $O_{95}$ .

$$* D_{50} \leq 0.075\text{mm}$$

$$O_{95} < 0.60\text{mm}$$

→ AOS  $\geq$  Tamiz N° 30

$$* D_{50} > 0.075\text{mm}$$

$$O_{95} < 0.30\text{mm}$$

→ AOS  $\geq$  Tamiz N° 50

Una serie de comparaciones directas del tamaño de la abertura geotextil ( $O_{95}$ ) fue hecho en relación a la cantidad del suelo retenido según el tamaño de las partículas ( $d_{95}$ ,  $d_{85}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{15}$ ) el valor numérico de dicha relación depende directamente del tipo del geotextil, el tipo de suelo, el caudal a drenar y más.

El geotextil como filtro se debe asegurar que:

$$O_{95} = 2.5 \times D_{85}$$

Para el diseño del filtro también se debe tener en cuenta:

Verificación de la estabilidad del suelo:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}}$$

Además se debe cumplir que el valor de  $C_c$  debe ser mayor de 1 pero menor de 3

$$1 < C_c < 3$$



Obtener el  $C'u$ :

$$C'u = \sqrt{\frac{D_{100}}{D_{10}}}$$

Si:

$$C'u > 3$$

$$0.95 < \frac{18 D_{50}}{C_u}$$

#### 4.6.4 Diseño de los filtros envolventes protectores de drenaje con fines agrícolas, con material granular.

##### 1) Diseño del envoltente formado de grava

Una cubierta de grava para este tipo de proyectos debe ser diseñada apropiadamente, para ello debe llenar dos requisitos:

- a).- Debe ser más permeable que el material base, para permitir que el agua se mueva libremente hacia el interior del dren.
- b).- Debe evitar que los finos se desplacen hacia el interior del dren o del filtro.

El arrastre del material fino hacia el interior de una línea de tubos por el agua que fluye hacia adentro generalmente se llama tubificación. Los materiales que son más susceptibles son la arena muy gruesa y el limo grueso. Tales materiales están enteramente carentes de cohesión y las partículas son suficientemente pequeñas para ser arrastradas por el agua a baja velocidad.

Según las investigaciones del "Bureau of Reclamation y el US Corps of Engineers" (\*), el SCS recomienda los siguientes criterios generales: (\*)

1.-  $12 \leq D_{50(F)} / D_{50(S)} \leq 58$ ; del cual tenemos:

$$12 D_{50(S)} \leq D_{50(F)} \quad ; \quad D_{50(F)} \leq 58 D_{50(S)}$$

(\*) Th. M. Boers "Diseño de material filtrante de grava para el área piloto de drenaje Khaipur East" Pág. 7. Lima, 09-1963.

2.- Si se tiene un suelo uniforme el criterio cambia a:

$$12 \leq D_{15(F)} / D_{15(S)} \leq 40;$$

Del cual tenemos:

- a)  $5 D_{50(S)} \leq D_{50(F)}$                       b)  $D_{50(F)} \leq 10 D_{50(S)}$   
c)  $12 D_{15(S)} \leq D_{15(F)}$                       d)  $D_{15(F)} \leq 40 D_{15(S)}$

3.-  $D_{85(F)} \geq 5 \Phi$  (perforación de los drenes); del cual tenemos:

$$D_{50(F)} \geq 0.5 \Phi \qquad D_{100(F)} < 37.5\text{mm}$$

4.-  $D_{90(F)} < 19.0\text{mm}$

5.-  $D_{10(F)} > 0.25\text{mm}$

6.-  $D_{15(F)} \leq 5 D_{15(S)}$

7.-  $D_{15(F)} / D_{15(S)} \leq 5$

Donde:

$D(i)_f$ : Tamaño de partícula del filtro correspondiente al  $i$  %.

$D(i)_s$ : Tamaño de partícula del suelo correspondiente al  $i$  %.

## 2) Aplicación del diseño del filtro protector

Sector: III

Calicata: 10

Tipo de suelo: **Suelo uniforme**

**Suelo bien graduado**

Obtención del:

•  $D_{85(s)} = ?$

$$\begin{aligned} > D_{85(s)} = 90.06 & > Abt_{85(s)} = 12.70\text{mm} \\ < D_{85(s)} = 84.02 & < Abt_{85(s)} = 9.525\text{mm} \end{aligned}$$

$$D_{85(s)} = 10.040\text{mm}$$

•  $D_{50(s)} = ?$

$$\begin{aligned} > D_{50(s)} = 53.08 & > Abt_{50(s)} = 0.59 \text{ mm} \\ < D_{50(s)} = 46.33 & < Abt_{50(s)} = 0.426\text{mm} \end{aligned}$$

$$D_{50(s)} = 0.515\text{mm}$$

•  $D_{15(s)} = ?$

$$\begin{aligned} > D_{15(s)} = 18.48 & > Abt_{15(s)} = 0.25 \text{ mm} \\ < D_{15(s)} = 6.23 & < Abt_{15(s)} = 0.149\text{mm} \end{aligned}$$

$$D_{15(s)} = 0.221\text{mm}$$

### 3) Elaboración Huso granulométrico

#### Criterios para la filtración:

Suelo uniforme

a)  $5 D_{50(s)} \leq D_{50(F)}$   
 $D_{50(F)} \geq 2.58\text{mm}$

b)  $D_{50(F)} \leq 10 D_{50(S)}$   
 $D_{50(F)} \leq 5.152\text{mm}$

•

a)  $12 D_{15(s)} \leq D_{50(F)}$   
 $D_{15(F)} \geq 2.66\text{mm}$

b)  $D_{15(F)} \leq 40 D_{15(S)}$   
 $D_{15(F)} \leq 8.85 \text{ mm}$

•  $\Phi = 10.5\text{mm}$

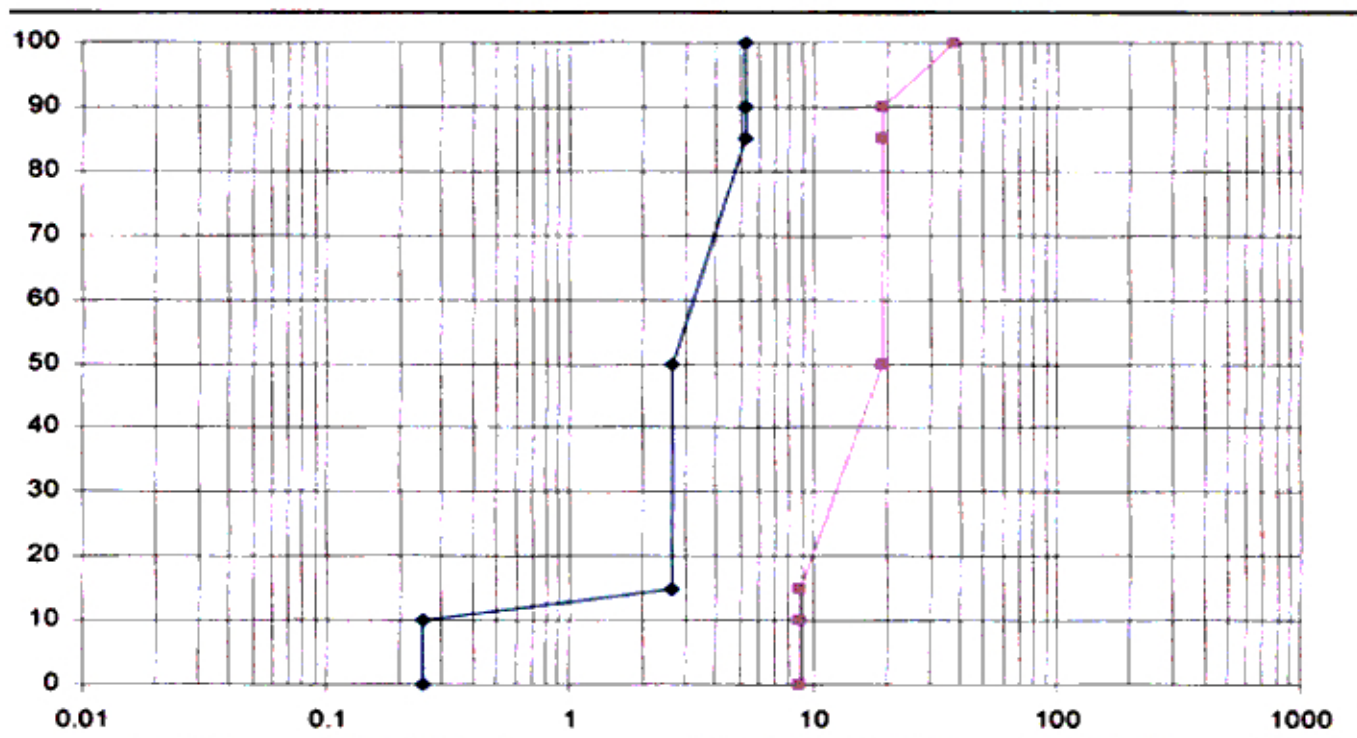
$$D_{85(F)} \geq 0,5 \times \Phi_{\text{agujero}}$$

$$D_{85(F)} \geq 5.25\text{mm.}$$

Ver figura 4.20

**FIGURA N°4.20**

**HUSO GRANULOMÉTRICO PARA EL FILTRO PROTECTOR**



yenda:

Límite inferior  
Límite superior



**CUADRO N°4.6**

**HUSO GRANULOMÉTRICO PARA EL FILTRO PROTECTOR**

% que pesa	Límite inferior	Límite superior
0	0.25	8.852
10	0.25	8.852
15	2.656	8.852
50	2.656	19.00
85	5.250	19.00
90	5.250	19.00
100	5.250	37.50

### **Criterios para la permeabilidad:**

- $D_{100(F)} < 37.5\text{mm}$   
 $D_{100(F)} < 37.50\text{mm}$   
 $D_{85(F)} \geq 5.25\text{mm}$   
 $D_{90(F)} < 19.0\text{mm}$
- $D_{90(F)} < 19.0\text{mm}$
- $D_{10(F)} > 0.25\text{mm}$   
 $D_{10(F)} \geq 0.25\text{mm}$

De lo que se obtienen los valores mostrados en el cuadro N° 4.6.

Donde:

$D(i)_f$ : Tamaño de partícula del filtro correspondiente al  $i$  %.

$D(i)_s$ : Tamaño de partícula del suelo correspondiente al  $i$  %.

## **4.7 TÉCNICAS MODERNAS DE COLOCACIÓN DEL GEOTEXTIL**

Existen diferentes maneras de colocar los geosintéticos (material envolvente), alrededor del dren, y diferentes maneras de armar y/o formar el envolvente del dren; este puede ser sólo el geotextil para proteger la tubería perforada, material granular más geotextil y aplicando geocompuestos.

### **4.7.1 Usando grava y geotextil**

El geotextil envuelve la grava que requiere, así evita el acarreo de partículas hacia el interior del dren colector, al mismo tiempo permite un rápido escurrimiento de las aguas de filtración, adaptándose a cualquier suelo, tal como se muestra en la figura N° 4.8.

De esta manera se obtiene una alta eficiencia comparado con los sistemas de drenaje tradicional. Mayor vida útil del sistema drenante, módica economía y alta velocidad de salida de agua del suelo.

## **4.7.2 Geocompuestos**

La utilización de los geocompuestos es una excelente alternativa para el manejo de los fluidos, estos pueden ser buenos sustitutos de los envolventes granulares hechos con material de suelo de granulometría graduada para el drenaje agrícola. Resulta una buena alternativa teniendo en cuenta el alto costo, tanto de diseño como de instalación del filtro gravoso.

### **1) Drenaje vertical**

Colocado en el interior de la zanja de manera vertical, por encima del tubo, que no exceda una altura de nueve veces ni menor de cinco veces su diámetro.

Se recomienda envolver solo con geotextil la superficie del tubo, para proteger las perforaciones superficiales y no crear mucho obstáculo al paso del agua.

## **4.8 VENTAJAS DEL USO DE LOS GEOCOMPUESTOS COMO MATERIAL DE FILTRO**

En el presente trabajo se analizó y comparó el comportamiento del geocompuesto Mac Drain, frente a otro sistema de drenaje agrícola que son actualmente utilizados. Mediante ensayo realizado (procedimiento que se detalla en el anexo del presente trabajo), el Mac Drain tuvo un comportamiento drenante destacable, arrojando valores de caudales de descarga de hasta 47.17% mayor que la del caudal evacuado por el sistema de grava y geotextil. Además luego de la comparación económica (detallado en el capítulo VII), vemos que ésta es ventajosa, lo cual hace una alternativa factible.

Ventajas del geocompuesto Mac Drain en el drenaje agrícola:

- Elevada capacidad de descarga.
- Evita la colmatación del tubo drenante.

- Es liviano, de fácil manipuleo y simple instalación.
- Puede ser aplicado en cualquier condición climática, sencillamente cortado con tijeras o cuchillo.
- Fácil transporte debido a su ligereza y presentación.
- Presenta excelente resistencia a ataques químicos y biológicos.

## **CAPITULO V**

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE**

#### **5.1 CRITERIOS DE DISEÑO**

Para llevar a cabo el diseño se tuvo en consideración que se trata de un régimen por lo general variable por tratarse de un terreno de regadío, donde la napa freática está en constante movimiento. Para el cálculo se utilizará la ecuación de GLOVER-DUMM. Para ello se tendrá en cuenta los siguientes criterios: recarga normativa y profundidad del nivel freático.

##### **5.1.1 Recarga normativa**

La recarga normativa o requerimiento de drenaje,  $C_d$  ha sido determinado de acuerdo a los valores establecidos en los estudios de las consultoras "Puiggros Ingenieros Consultores" y "Agua y Agro A.A S.A."

##### **5.1.2 Profundidad del nivel freático**

Los objetivos que se persiguen sobre el control del nivel freático están basados en las siguientes consideraciones:

- Evitar la inundación de los suelos durante el período de crecimiento, ya que su efecto es directo en el desarrollo de los cultivos.
- Evitar la salinización del suelo por el riego o por el ascenso capilar del agua sub-superficial.

##### **5.1.3 Drenaje durante el período de crecimiento de los cultivos**

Durante la estación de crecimiento el sistema radicular se desarrolla hasta una profundidad mayor y es de mayor fuerza que para el periodo restante. En consecuencia es de primordial importancia una aireación adecuada en la zona radicular y constituye el primer objetivo del drenaje. Las necesidades de aireación de los cultivos y las condiciones físicas de los suelos relativas a aireación, son las que determinan la profundidad deseable del nivel freático.



### 5.1.4 Drenaje de sales

Es por esta razón, en las áreas bajas con aportación sub-superficial generalmente salina, los drenes deben instalarse a una profundidad tal, por debajo de la profundidad crítica que no ocasione transporte vertical de sales.

Las consideraciones descritas y los valores del cuadro N° 5.1 permiten adoptar una profundidad de drenes parcelarios del orden menor a 1.45 metros, que logra controlar tanto a la elevación del nivel freático, como el ascenso capilar.

### 5.1.5 Fórmula para determinar el espaciamiento de drenes

La ecuación que determina el espaciamiento o distancia entre drenes, y que ha sido utilizada en la presente tesis, es la referida a GLOVER-DUMM; que estudia la situación en la que la carga instantánea aportada por el acuífero, expresada en altura es "R", la napa freática se eleva en una altura  $R/u$  y, a continuación comienza a descender.

## 5.2 CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES

El espaciamiento entre drenes, es uno de los factores que más influye en el costo del establecimiento de un sistema de drenaje, puesto que determina la longitud total de drenes, ya sea a cielo abierto y/o subterráneos, por hectáreas de terreno, es por ello que se debe tener en consideración el buen cálculo de dicho dato.

El cálculo del espaciamiento entre drenes para la zona en estudio, se ha efectuado con el empleo de fórmulas para la condición de suelo homogéneo, con hidroapoyo poco profundo en tres diferentes sectores, para el régimen transitorio.

Se procedió a efectuar el agrupamiento de los factores que intervienen en la fórmula de GLOVER-DUMM como son:

$$L^2 = \frac{(\pi^2 \cdot kD)}{u} \times \frac{1}{\ln 1.16 \frac{h_0}{h_1}}$$

**CUADRO N°5.1****PROFUNDIDAD EFECTIVA PROMEDIO DE RAÍCES POR CULTIVO**

Cultivo	Profundidad efectiva (m)	Cultivo	Profundidad efectiva (m)
Maíz dulce	0.9	Loc-Tao	0.6
Maíz para grano	1.8	Arroz	0.3
Sorgo	0.5	Cítricos	1.8
Caña de azúcar	0.9	Pastos	0.9
Trigo	0.9	Zanahoria	0.9
Soya	1	Papa	0.9
Frijol	0.6	Nabo	0.9
Hortalizas	0.5	Palta	1.8
Tomate	0.9	Ciruelo	1.8
Alfalfa	1.2		

Fuente: Datos obtenidos en el Valle de Jequetepeque por PUIGGROS INGENIEROS S.R.L

**CUADRO N°5.2****USO CONSUNTIVO MÁXIMO DIARIO POR CULTIVO**

Cultivo	Uso Consuntivo diario (mm/día)	Cultivo	Uso Consuntivo diario (mm/día)
Maíz (grano)	4.16	Alfalfa	4.5
Sorgo	5.123	Frutales	3.145
Loc-Tao	5.488	Caña de Azúcar	4.68
Arveja	3.212	Nabo	3.296
Tomate	5.733	Zanahoria	4.841
Maíz (choclo)	3.616		

Fuente: Datos obtenidos en el Valle de Jequetepeque por PUIGGROS INGENIEROS S.R.L

## Formula de GLOVER-DUMM

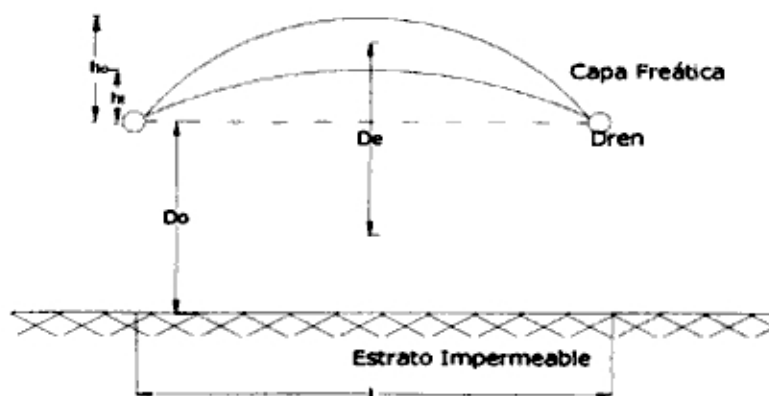


Figura N° 5.1.-Representa un terreno con drenes subterráneos. En el régimen permanente se considera el movimiento de napa freática tanto para la recarga como para la descarga del acuífero.

$$\alpha = \frac{(\pi^2 \cdot kD)}{(U \cdot L \cdot L)} \quad ; \quad h_t = 1.16 \cdot H_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

Donde:

$H_0$  = Altura inicial sobre el nivel de los drenes (m).

$h_t$  = Altura sobre el nivel de los drenes al cabo de un tiempo  $t$ (m).

$t$  = Tiempo transcurrido desde que comenzó el descenso de la napa freática (días).

$K$  = Permeabilidad (m/día).

$D$  = Estrato (m).

$u$  = Macroporosidad.

$L$  = Espaciamiento (m).

### 5.2.1 Cálculo de la profundidad de los drenes (P)

La profundidad mínima a colocar los drenes depende de la profundidad de las raíces de los cultivos, la cual deberá ser mayor a la profundidad del nivel freático en el punto medio entre los drenes.

Se debe tener en cuenta que la profundidad del dren subterráneo debe estar entre el intervalo de [1.00m a 1,50 m]

Del cuadro N°5.1, se selecciona la profundidad mínima requerida, según el sector donde se proyectan los drenes subterráneos.

### 5.2.2 Determinación del valor "D":

$$D = D1 + D2$$

D2, es el espesor equivalente de HOOGHOUTD.

$$D_2 = \frac{D}{\frac{8}{\pi} \frac{D}{L} (\ln(D/u)) + 1}$$

D1, es la altura media sobre los drenes de la napa freática en su movimiento de  $h_0$  a  $h_1$ :

$$D_1 = \frac{(h_0 + h_1)}{2}$$

Cuando el valor de D1 es pequeño en comparación con D2, se puede despreciar y considerar  $D = D2$

### 5.2.3 Determinación de la permeabilidad (K)

La determinación de la permeabilidad, nos permitirá conocer con que facilidad se mueve el agua de un lugar a otro a través del suelo.

Para la obtención de la permeabilidad en el lugar, se ha efectuado, la excavación de calicatas y/o pozos en 19 distintos puntos, distribuidos de manera conveniente en todo el ámbito de las parcelas en estudio, hasta llegar más debajo de la napa freática. Se extrae una cantidad de agua, y se monitorea el tiempo que el agua tarda en llegar a su equilibrio anterior.

Se han desarrollado varias fórmulas diferentes por parte de diversos investigadores, para la determinación de la conductividad hidráulica del suelo; en el presente trabajo se ha tomado la fórmula de Hooghout, por ser la que mejor

se asemeja a las condiciones de nuestros ensayos en campo, las que se representan en la figura N° 5.2

En el Plano N°4 se representa la variación de la permeabilidad en la zona de estudio con los valores obtenidos.

### 5.2.3.1 Método de HOOGHOUT

Se considera un pozo de perforación de suelo homogéneo, cuya conductividad hidráulica es similar. Los pozos pueden o no llegar hasta la capa impermeable.

- 1) **Primera hipótesis.-** La capa freática no baja su nivel alrededor del pozo cuando se bombea el agua.
- 2) **Segunda hipótesis.-** El agua fluye horizontalmente hacia el interior de los lados del pozo y verticalmente hacia arriba por el fondo del mismo.

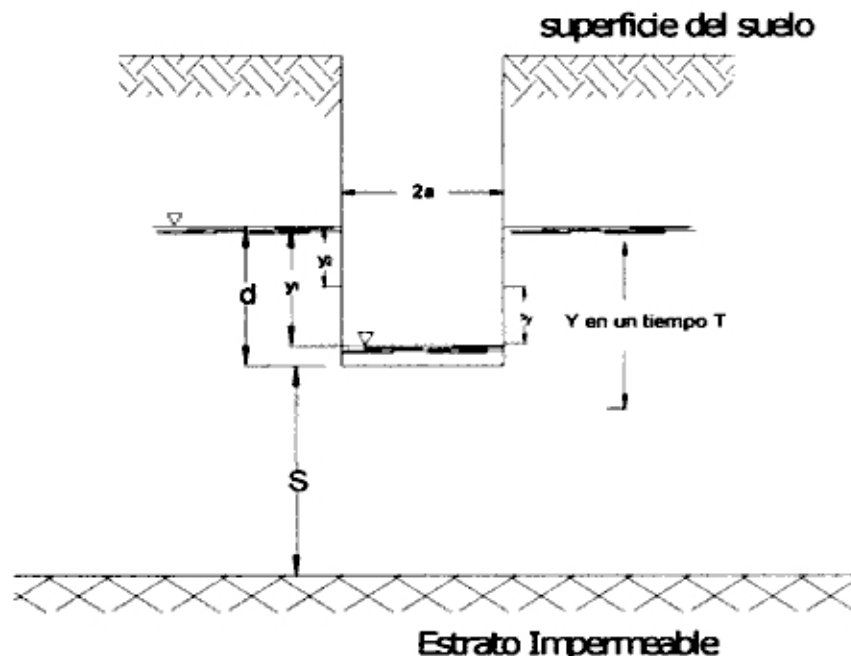


Fig. N° 5.2.- Geometría del método de pozo perforado. Suponiendo un suelo homogéneo.

La fórmula por usar cuando el pozo perforado con barrena no termina en una capa impermeable es la siguiente:

$$K = \left[ \frac{2.3 s M}{(2d + a)t} \right] \log \left( \frac{y_1}{y_2} \right) ; \quad M = \frac{ad}{0.19}$$

Donde:

M: Es una constante, dada por la ecuación anterior.

t: Tiempo para que el agua se eleva de  $y_1$  a  $y_2$

a y d: están en m.

En el cuadro N° 5.3, se presentan los resultados obtenidos.

#### 5.2.4 Determinación de la coeficiente de recarga (CD)

El coeficiente de recarga, es el valor del modulo de drenaje, en unidades de (m/día), el calculo de este valor se detalla en el siguiente acápite. Este valor nos representa la carga de agua a la que esta expuesta el terreno donde se emplazarán los drenes.

#### 5.2.5 Determinación del espaciamiento entre drenes "L"

Con los datos obtenidos, se procede a la aplicación de Glover Dumm, teniendo en cuenta existen tres sectores de diferentes valores de permeabilidad y profundidad del estrato impermeable, tal como se aprecia en el Plano N° 6.

Datos:

Cd = 0.0110 m/día

Intervalo de riego = 10 días

Dosis de riego = 150mm.

Uso consuntivo máximo de cultivo por día = 4.5mm/día (Ver cuadro N° 5.2)

Eficiencia de riego = 64.85 %

Total de agua regada por día = 6.94 mm/día

Frecuencia de riego = 15 días

Total de perdidas del riego = 36.594 mm.

Infiltración (20% a 40% lamina de riego) = 31.228 mm.

Macroporosidad (u) = 0.173 puede ser (k 0,5)

Profundidad del dren (m) = 1.440 Sector I y II

1.100 Sector III

### CUADRO N°5.3

#### DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA "K", CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN CAMPO

PUNTO	COORDENADAS		Cota terreno (m)	Altura de agua	H N.F. (m)	H N.F. <sub>1</sub> (m)	H N.F. <sub>2</sub> (m)	Tiempo		Tiempo (s)	φ (m)	Y <sub>1</sub> (m)	Y <sub>2</sub> (m)	D1 (h)	K <sub>media</sub>	K <sub>media</sub> (m/día)	K <sub>media</sub> (m/día)	Clase
	NORTE	ESTE						min	seg									
C-2	9211718	656869	36.30	0.50	1.46	1.49	1.48	13	41	821	0.20	0.03	0.02	0.2281	42.49	48.63	1.17	Moderada
							1.475	21	56									
C-6	9211442	656121	35.60	0.50	1.76	1.83	1.815	9	3	543	0.20	0.07	0.05	0.1508	38.21	39.97	0.98	Moderada
							1.8	21	5									
C-10	9212158	655398	33.80	0.50	0.10	0.31	0.28	2	45	165	0.20	0.21	0.18	0.0458	60.37	70.64	1.70	Moderadamente Rápida
							0.26	5	48									
C-13	9212336	656940	39.80	0.50	2.55	2.59	2.58	4	38	278	0.20	0.04	0.03	0.0772	89.02	99.98	2.40	Moderadamente Rápida
							2.57	10	24									
C-17	9211892	654874	30.70	0.50	0.74	0.90	0.88	15	5	408	0.20	0.18	0.14	0.1128	28.29	23.02	0.55	Moderada
							0.875	20	12									
C-18	9211884	655002	32.10	0.50	0.00	0.07	0.05	4	4	244	0.20	0.07	0.05	0.0678	118.63	115.76	2.78	Moderadamente Rápida
							0.038	9	3									
C-22	9212336	656316	37.15	0.50	1.50	1.55	1.54	10	4	604	0.20	0.05	0.04	0.1678	31.78	38.88	0.89	Moderada
							1.535	15	5									
C-23	9211116	656093	32.45	0.50	1.70	1.78	1.74	17	2	1022	0.20	0.08	0.04	0.2839	34.13	34.13	0.82	Moderada
C-24	9211760	654005	28.80	0.50	0.34	0.40	0.38	11	4	664	0.20	0.07	0.05	0.1844	47.84	47.84	1.14	Moderada
C-25	9211386	654120	29.00	0.50	1.45	1.50	1.48	18	56	1136	0.20	0.05	0.0300	0.3156	38.68	38.68	0.93	Moderada
C-26	9211562	656885	36.10	0.50	0.77	1.23	1.18			302	0.20	0.46	0.39	0.0839	48.60	81.31	1.47	Moderada
							0.927											
C-27	9212336	656184	36.90	0.50	1.12	1.46	1.402			600	0.20	0.34	0.28	0.1667	26.40	26.40	0.83	Moderada
C-28	9213402	655634	34.90	0.50	1.46	1.97	1.865			630	0.20	0.51	0.41	0.1750	30.13	30.13	0.72	Moderada
C-29	9213786	655619	33.30	0.50	1.68	1.87	1.825			900	0.20	0.19	0.15	0.2500	23.29	23.29	0.58	Moderada
C-30	9213070	654384	24.90	0.50	0.64	1.24	1.11			300	0.20	0.60	0.47	0.0833	70.03	49.04	1.18	Moderada
							1.07											
C-31	9212480	655537	33.80	0.50	0.41	1.15	1.159			310	0.20	0.74	0.73	0.0861	4.53	22.10	0.53	Moderada
							0.98											
C-33	9212196	653991	32.00	0.50	1.22	1.62	1.605			312	0.20	0.4	0.385	0.0867	10.54	29.58	0.71	Moderada
							1.55											
C-34	9212502	653405	25.10	0.50	1.64	1.96	1.945			309	0.20	0.32	0.31	0.0858	13.37	22.61	0.54	Moderada
							1.838											
C-35	9211530	653788	28.70	0.50	2.24	2.37	2.36			309	0.20	0.13	0.12	0.0858	22.28	22.28	0.53	Moderada

Profundidad del impermeable  $D_o$  (m) = variable

Se empleará método de la iteración, debido que no puede despejarse "L" en la ecuación.

En la figura N° 5.3 se representan los sectores con sus respectivas características. En los cuadros N° 5.4 al 5.6 se presenta los resultados de los espaciamientos teóricos obtenidos al aplicar la fórmula de Glover Dumm. El espaciamiento de diseño final se presenta replanteado en el Plano N° 7.

### 5.3 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

#### 5.3.1 Caudal de diseño

El caudal máximo de cada dren complementario se deduce de la máxima cantidad obtenida empleando la cédula de riego asumida (arroz, lo cual no implica una sugerencia de cultivo) y las eficiencias del caso. De acuerdo a los estudios efectuados por el PEJEZA, a través de "Puiggros Ingenieros Consultores", se estima en el presente caso, con las pérdidas asumidas, el valor máximo de 10.4 mm/día equivalente a 1.2 lt/s/ha.

##### 5.3.1.1 Aplicando el módulo de drenaje

Cálculo del módulo de drenaje máximo:

- |   |              |
|---|--------------|
| 1.- Eficiencia de conducción del ( $E_{f_{cond}}$ ):                        | 81.21%       |
| 2.- Eficiencia de riego ( $E_{f_{riego}}$ ):                                | 64.85%       |
| 3.- Área no irrigable, como caminos, viviendas, etc ( $A_{no\ irrig}$ ):    | 15%          |
| 4.- Área neta cultivada, el mes de máxima producción ( $A_{neta\ irrig}$ ): | 98%          |
| 5.- Coeficiente de afectación por fenómenos extraordinarios ( $C_{FE}$ ):   | 1.35         |
| 6.- Módulo de riego del arroz ( $M_{arroz}$ ):                              | 1.98 lt/s/Ha |

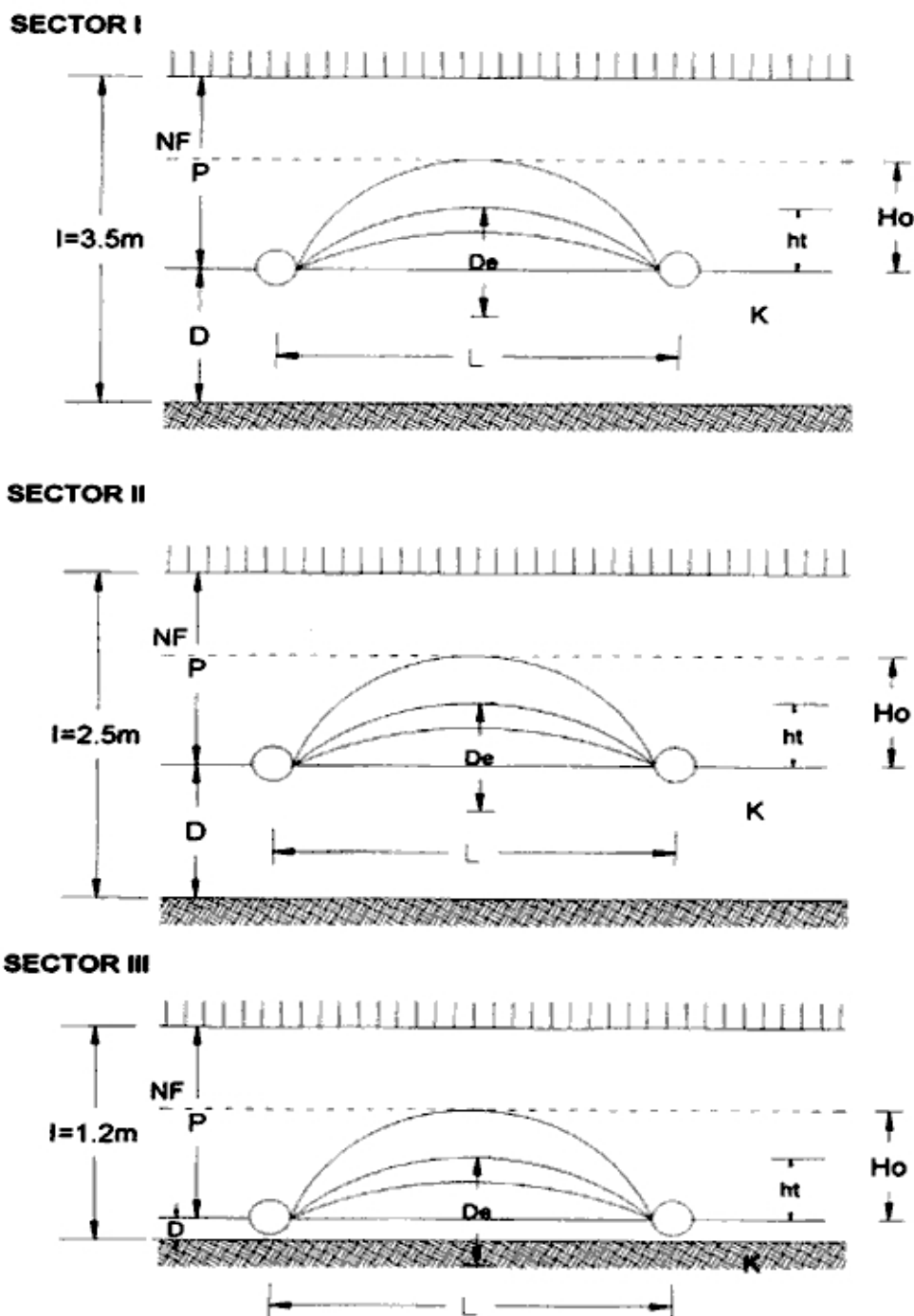
Por lo tanto el módulo de drenaje máximo será:

$$M_{drenaje} = (E_{f_{cond}}) \times (1 - E_{f_{riego}}) \times (1 - A_{no\ irrig}) \times (A_{neta\ irrig}) \times (M_{arroz}) \times (C_{FE}) \dots\dots(1)$$



**FIGURA N°5.3**

**REPRESENTACIÓN DE LOS DIFERENTES SECTORES EXISTENTES EN EL  
ÁREA DE ESTUDIO**



**CUADRO N°5.4**

**CÁLCULO DE ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE GLOVER-DUMM SECTOR I**

PUNTO	K	q	l	p	D	ro	u	L(asumida)	De=d1 (tubería)	h	U	Li	h1=Ho
C-2	1.17	0.0110	3.5	1.44	2.06	0.05	1.16	54.7	1.95	0.5	0.108	0.0366	0.3387
C-13	2.40	0.0110	3.5	1.44	2.06	0.05	1.16	67.4	1.97	0.5	0.155	0.0366	0.2363
C-22	0.89	0.0110	3.5	1.44	2.06	0.05	1.16	50.7	1.94	0.5	0.094	0.0366	0.3890
C-26	1.47	0.0110	3.5	1.44	2.06	0.05	1.16	58.6	1.96	0.5	0.121	0.0366	0.3017
C-27	0.63	0.0110	3.5	1.44	2.06	0.05	1.16	46.0	1.93	0.5	0.080	0.0366	0.4598
	1.31								1.95				

d2=Ho/2	D=d1+d2	a	t	a x t	h2=Ht(h1)	h3=h1+h2	h4=Ht(h3)	h5=h1+h4	h6=Ht(h5)	h7=h1+h6	h8=Ht(h7)	h9=h1+h8
0.1694	2.12	0.076	15	1.134	0.1264	0.465	0.1736	0.512	0.1912	0.530	0.1978	0.537
0.1181	2.09	0.070	15	1.055	0.0954	0.332	0.1340	0.370	0.1496	0.386	0.1559	0.392
0.1945	2.14	0.077	15	1.159	0.1416	0.531	0.1932	0.582	0.2120	0.601	0.2188	0.608
0.1508	2.11	0.074	15	1.103	0.1161	0.418	0.1608	0.462	0.1780	0.480	0.1846	0.486
0.2299	2.16	0.080	15	1.204	0.1599	0.620	0.2156	0.675	0.2349	0.695	0.2417	0.701

h10=Ht(h9)	h11=h1+h10	h12=Ht(h11)	h13=h1+h12	h14=Ht(h13)	h15=h1+h14	t = 3 días a x t	Ht (3 días)	L
0.2002	0.539	0.2012	0.540	0.2015	0.540	0.227	0.500	55
0.1464	0.485	0.1811	0.520	0.1940	0.533	0.211	0.500	67
0.2268	0.566	0.2111	0.550	0.2052	0.544	0.232	0.500	51
0.1815	0.520	0.1942	0.533	0.1989	0.538	0.221	0.500	59
0.2618	0.601	0.2241	0.563	0.2101	0.549	0.241	0.500	46
					0.541			55

**CUADRO N°5.5**

**CÁLCULO DE ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE GLOVER-DUMM SECTOR II**

PUNTO	K	q	l	p	D	ro	u	L(asumida)	De=d1 (tubería)	h	U	Li	h1=Ho
C-6	0.96	0.0110	2.5	1.44	1.06	0.05	1.16	50.1	1.07	0.5	0.098	0.0366	0.3736
C-18	2.78	0.0110	2.5	1.44	1.06	0.05	1.16	52.6	1.06	0.5	0.167	0.0366	0.2195
C-24	1.14	0.0110	2.5	1.44	1.06	0.05	1.16	41.8	1.07	0.5	0.107	0.0366	0.3422
C-30	1.18	0.0110	2.5	1.44	1.06	0.05	1.16	42.4	1.07	0.5	0.108	0.0366	0.3373
	1.51								1.07				

d2=Ho/2	D=d1+d2	a	t	a x t	h2=Ht(h1)	h3=h1+h2	h4=Ht(h3)	h5=h1+h4	h6=Ht(h5)	h7=h1+h6	h8=Ht(h7)	h9=h1+h8
0.1868	1.25	0.048	15	0.723	0.2103	0.584	0.3286	0.702	0.3952	0.769	0.4327	0.806
0.1098	1.17	0.070	15	1.048	0.0893	0.309	0.1257	0.345	0.1405	0.360	0.1465	0.366
0.1711	1.24	0.075	16	1.196	0.1201	0.462	0.1622	0.504	0.1770	0.519	0.1822	0.524
0.1687	1.23	0.074	18	1.324	0.1041	0.441	0.1363	0.474	0.1462	0.484	0.1493	0.487

h10=Ht(h9)	h11=h1+h10	h12=Ht(h11)	h13=h1+h12	h14=Ht(h13)	h15=h1+h14	t = 3 días a x t	Ht (3 días)	L (m)
0.3010	0.640	0.2388	0.577	0.2155	0.554	0.241	0.500	50
0.1366	0.475	0.1774	0.516	0.1926	0.531	0.210	0.500	53
0.1957	0.534	0.1995	0.538	0.2009	0.540	0.224	0.500	42
0.1816	0.520	0.1942	0.533	0.1989	0.538	0.221	0.500	42
					0.54			47

**CUADRO N°5.6**

**CÁLCULO DE ESPACIAMIENTO ENTRE DRENES EMPLEANDO LA ECUACIÓN DE GLOVER-DUMM SECTOR III**

PUNTO	K	q	l	p	D	ro	L(asumida)	De=d1 (tubería)	h	U	Li	c
C-10	1.70	0.0110	1.2	1.10	0.10	0.1	13.8	0.00	0.5	0.130	0.0366	1.60
C-31	0.53	0.0110	1.2	1.10	0.10	0.1	15.65	0.00	0.5	0.073	0.0366	1.60
	1.11							0.00				

h1=Ho	d2=Ho/2	D=d1+d2	a	t	a x t	h2=Ht(h1)	h3=h1+h2	h4=Ht(h3)	h5=h1+h4	h6=Ht(h5)	h7=h1+h6
0.4497	0.2248	0.10	0.067	15	1.012	0.1896	0.639	0.2695	0.719	0.3032	0.753
0.8040	0.4020	0.50	0.147	15	2.210	0.1023	0.906	0.1154	0.919	0.1170	0.921

h8=Ht(h7)	h9=h1+h8	h10=Ht(h9)	h11=h1+h10	h12=Ht(h11)	h13=h1+h12	h14=Ht(h13)	h15=h1+h14	t = 3 días a x t	Ht (3 días)	L (m)
0.3174	0.767	0.2863	0.625	0.2333	0.572	0.2135	0.663	0.202	0.628	45
0.1172	0.921	0.3438	0.683	0.2548	0.593	0.2215	1.025	0.442	0.765	37
							0.84			41

### Cálculo del caudal máximo

$$Q_{\max} = A_{\text{influencia}} \times M_{\text{drenaje}} \dots\dots\dots (2)$$

#### 5.3.1.2 Aplicando la ecuación de GLOVER DUMM

El caudal a eliminar por los drenes según Glover Dumm esta dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{\max} = \frac{0.000073 \times K \times D \times h_o \times l_d}{L} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$Q_{\max}$  = Caudal máximo

K = Permeabilidad del suelo

D = Profundidad de impermeable.

$h_o$  = Altura del nivel freático

$L_d$  = Longitud de la tubería del dren

L = Espaciamiento entre drenes

Debemos recordar que la zona en estudio, se ha dividido en tres sectores, como se muestra en el Plano N°6 donde se muestra las diferentes permeabilidades y profundidades de los estratos. Se tiene los siguientes datos por sector:

### CUADRO N° 5.7

#### VALORES DE CAMPO DE LOS DIFERENTES SECTORES ANALIZADOS

	Sector I	Sector II	Sector III
<b>De</b> (m)	1.62	0.95	0.00
<b>D1</b> (m)	0.52	0.52	0.49
<b>D2</b> (m)	1.62	0.95	0.00
<b>D</b> (m)	2.14	1.47	0.49
<b>ho</b> (m)	0.54	0.54	0.49
<b>ht</b> (m)	0.50	0.50	0.50
<b>k</b> (m/día)	1.31	1.51	1.11
<b>Ld</b> (m)	250	250	250
<b>L</b> (m)	51	44	33
<b>Md</b> (lt/s/Ha)	0.635	0.635	0.635

Aplicando las ecuaciones indicadas, obtenemos los resultados que se observan en los cuadros N° 5.8 al 5.13 tanto para la ecuación del módulo de drenaje como para la ecuación de Glover Dumm respectivamente.

### 5.3.2 Diámetro de la tubería ( $D_{TUB}$ )

Luego de haber determinado los caudales máximos de las tuberías, se calcula los diámetros de los drenes parcelarios, teniendo en cuenta los criterios del módulo de drenaje y Glover Dumm los cuales son:

#### 5.3.2.1 Aplicando el módulo de drenaje

Para el cálculo de los diámetros se ha considerado la ecuación de Manning a tubería llena y coeficiente de rugosidad  $n = 0.011$ ; luego igualando esta ecuación, con la ecuación (2) se obtiene la ecuación (5):

$$Q_{max} = \frac{0.5456 \times S^{1/2} \times d_{tub}^{8/3}}{n} \dots\dots\dots (4)$$

$$d_{tub} = 0.28535 \times M_d \times A_{influencia} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

- $d_{tub}$  (m): Diámetro de la tubería
- S: pendiente de la tubería

#### 5.3.2.2 Aplicando la ecuación de GLOVER DUMM

Si se utilizarán tuberías lisas. Entonces aplicamos la siguiente ecuación deducida por Glover Dumm:

$$d_{max} = 0.1913 \times Q_{max}^{0.368} \times S^{-0.211} \dots\dots\dots (6)$$

Aplicando estas ecuaciones obtenemos los resultados indicados en los cuadros N° 5.8 al 5.13; de estos dos diámetros obtenidos se toman los más altos, y se

**CUADRO N°5.8****CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO Y DIÁMETRO DE LA TUBERÍA APLICANDO EL MÓDULO DE DRENAJE  
SECTOR I**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	Área (m <sup>2</sup> )	K (m/día)	M <sub>D</sub>	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub SD</sub> (m)
C3		C3-1-1	10853.28	1.3113	6.3E-08	0.0015	0.0007	0.05		
		C3-1-10	10853.28	1.3113	6.3E-08	0.0015	0.0007	0.05		
	C3-1		195358.97		6.3E-08	0.0013	0.0124	0.16	0.0124	0.16
C4		C4-1-1	12470.74	1.3113	6.3E-08	0.0015	0.0008	0.06		
		C4-1-8	12470.74	1.3113	6.3E-08	0.0015	0.0008	0.06		
	C4-2		174590.30		6.3E-08	0.0012	0.0111	0.16	0.0111	0.16

**CUADRO N°5.9****SECTOR II**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	Área (m <sup>2</sup> )	K (m/día)	M <sub>D</sub>	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub SD</sub> (m)
C2		C2-1-1	11423.90	1.5145	6.3E-08	0.0015	0.00073	0.05		
		C2-1-7	11423.90	1.5145	6.3E-08	0.0015	0.00073	0.05		
	C2-1		137086.84		6.3E-08	0.0015	0.00870	0.14	0.0087	0.14

**CUADRO N°5.10****SECTOR III**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	Área (m <sup>2</sup> )	K (m/día)	M <sub>D</sub>	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub SD</sub> (m)
C1		C1-1-1	8750.00	1.1128	6.3E-08	0.0015	0.00056	0.05		
		C1-1-13	8750.00	1.1128	6.3E-08	0.0013	0.00056	0.05		
	C1-1		210000.00		6.3E-08	0.0015	0.01333	0.16	0.0133	0.16
C4		C4-1-1	10500.00	1.1128	6.3E-08	0.0013	0.00067	0.05		
		C4-1-14	10500.00	1.1128	6.3E-08	0.0015	0.00067	0.05		
	C4-1		322500.00		6.3E-08	0.0013	0.02048	0.19	0.0205	0.19

**CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO Y DIÁMETRO DE LA TUBERÍA APLICANDO  
LA FÓRMULA DE GLOVER-DUMM**

**CUADRO N°5.11**

**SECTOR I**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	K (m/día)	Id	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub<sub>SD</sub></sub> (m)
C3		C3-1-1	1.3113	250	0.0015	0.0005	0.05		
		C3-1-10	1.3113	250	0.0015	0.0005	0.05		
	C3-1				0.0013	0.0098	0.17	0.0098	0.17
C4		C4-1-1	1.3113	250	0.0015	0.0005	0.05		
		C4-1-8	1.3113	250	0.0015	0.0005	0.05		
	C4-2				0.0012	0.0076	0.16	0.0076	0.16

**CUADRO N°5.12**

**SECTOR II**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	K (m/día)	Id	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub<sub>SD</sub></sub> (m)
C2		C2-1-1	1.5145	250	0.0015	0.0005	0.05		
		C2-1-7	1.5145	250	0.0015	0.0005	0.05		
	C2-1				0.0015	0.0059	0.14	0.0059	0.14

**CUADRO N°5.13**

**SECTOR III**

Dren	Sub dren	D <sub>Parcelario</sub>	K (m/día)	Id	S	Q <sub>D</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub</sub> (m)	Q <sub>SD</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Φ <sub>tub<sub>SD</sub></sub> (m)
C1		C1-1-1	1.1128	250	0.0015	0.0001	0.03		
		C1-1-13	1.1128	250	0.0013	0.0001	0.03		
	C1-1				0.0015	0.0035	0.12	0.0035	0.12
C4		C4-1-1	1.1128	300	0.0013	0.0002	0.04		
		C4-1-14	1.1128	300	0.0015	0.0002	0.03		
	C4-1				0.0013	0.0044	0.13	0.0044	0.13



escogen los diámetros más adecuados, tal como se muestra en el cuadro N° 5.14.

### **5.3.3 Cálculo de la caja de drenes**

Para los drenes abiertos se aplica la ecuación de Manning, considerando el coeficiente de rugosidad  $n=0.025$ , una sección transversal trapezoidal de base mínima igual a  $b_{min}= 0.4m$  además, la velocidad para este tipo de terreno debe ser mayor a 0.45 m/s y menor a 0.85 m/s; tal como se aprecia en el cuadro N° 5.15

#### **5.3.3.1 Ancho de fondo y taludes**

En relación a los taludes en los drenes complementarios se efectuarán en razón de 1.5:1 para los suelos predominantemente areno-limosos, sin embargo, en algunos tramos existen suelos predominantemente arenosos (relativo a la zonificación por estratigrafía del suelo referido al colector). Estos se deben construir con un talud 2:1 adicionando la protección conveniente de capa sobre éste.

#### **5.3.4 Pendiente**

La pendiente de la rasante de los drenes complementarios y de los drenes parcelarios, resulta influenciada por la topografía del trazo (siguiéndose por tanto el nivel natural en lo posible), aunado a las velocidades permisibles de paso del flujo, por lo que se ha efectuado el perfil longitudinal correspondiente a cada dren, mostrado en el Plano N° 8.

#### **5.3.5 Velocidad permisible y nivel de agua**

Se ha adoptado una velocidad de límites permisibles que evitan la erosión y sedimentación. El rango de velocidades aceptado se ha ceñido de acuerdo a los siguientes valores del cuadro N° 5.16.

**CUADRO N°5.14****RESUMEN DE LOS DIÁMETROS A UTILIZAR**

Dren	Sub dren	Dren parcelario	Φ <sub>tub</sub> (cm)	Φ <sub>tub</sub> (plg) usar	Φ <sub>tub</sub> (cm) usar
C1		C1-1-1	5	4"	10
		C1-1-14	5	4"	10
	C1-1		16	8"	20
C2		C2-1-1	5	4"	10
		C2-1-7	5	4"	10
	C2-1		14	8"	20
C3		C3-1-1	5	4"	10
		C3-1-10	5	4"	10
	C3-1		16	8"	20
C4		C4-1-1	5	4"	10
		C4-1-14	5	4"	10
	C4-1		19	10"	25
		C4-2-1	6	4"	10
		C4-2-8	6	4"	10
	C4-2		16	8"	20

**CUADRO N°5.15****CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA CAJA DREN**

Dren	Area Influencia (m <sup>2</sup> )	M <sub>D</sub>	Q Zanja (m <sup>3</sup> /s)	Q Parcelarios (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	y	z	b	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	S	v (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
C1	20,446	6.3E-08	0.0013	0.013	0.0146	0.2	1.2	0.4	0.128	1.025	0.00229	0.4783	0.0612
C2	24,659	6.3E-08	0.0016	0.0087	0.0103	0.25	1.2	0.4	0.175	1.181	0.00166	0.4564	0.0799
C3	16,805	6.3E-08	0.0011	0.0124	0.0135	0.26	1.2	0.4	0.18512	1.212	0.00158	0.4542	0.0841
C4	45,315	6.3E-08	0.0029	0.0316	0.0344	0.30	1.2	0.4	0.228	1.337	0.00134	0.4502	0.1027

Drene	Area Influencia (m <sup>2</sup> )	M <sub>D</sub>	Q Zanja (m <sup>3</sup> /s)	Q Parcelarios (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	y	z	b	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	S	v (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
COLECTOR	63,540	0.00	0.004035	0.073	0.0768	0.2	1.5	0.6	0.18	1.321	0.00344	0.6212	0.1118

Donde :

b : Es la base de la zanja que tiene esa dimensión mínima

La velocidad para este tipo de terreno debe estar en este rango (0,45 m/s y 0,85 m/s)

**CUADRO N° 5.16****VELOCIDADES PERMISIBLES**

Suelo	Vel. Máx. ( m/s)	Vel. Min. (m/s)
Arcilloso	1.20	0.60
Areno limoso	0.80	0.45
Arena fina	0.50	0.30

De acuerdo a lo asumido y al aplicar la ecuación de Manning resultan para el dren colector tirantes de un orden menor o igual a los 0.75 metros (valor máximo para condiciones extremas de riego y drenaje).

**5.3.6 Coeficiente de rugosidad**

Por las características predominantes del suelo y profundidad establecida para los drenes complementarios, el coeficiente de rugosidad de Manning se ha considerado en el orden de 0.025 a 0.030, canal sin revestir. En un primer período del funcionamiento de los drenes y luego de las etapas de mantenimiento la rugosidad se encontraría en el orden más bajo para luego acrecentarse con la vegetación natural de afloramiento pasando al siguiente orden. Es de esperar por tanto para el presente caso un mejor mantenimiento que los efectuados en otras zonas, ya que por el tipo de suelo predominante, este valor no incrementa, lo cual afectaría el tirante asumido incrementándose en la caja del dren.

**5.4 INFRAESTRUCTURA COMPLEMENTARIA**

Los drenes de tubería requiere de una serie de estructuras especiales que permiten conectar, proteger, inspeccionar y mantener adecuadamente la red.

### **5.4.1 Entregas**

Estas estructuras serán diseñadas convenientemente mediante el pase con tubería de concreto o de otro material con similares funciones. Este debe ser de tal manera que no se produzca erosión en los taludes, por lo tanto el agua que sale de la tubería caerá directamente sobre el tirante de agua en el dren colector abierto como se aprecia en el Plano N° 8

### **5.4.2 Buzones de inspección**

En la entrega de cada dren parcelario hacia un dren colector entubado se ha considerado la construcción de un buzón o registro de inspección; que además de cumplir la función de receptor del caudal de drenaje para derivarlo al dren colector subterráneo, servirá para efectuar labores de mantenimiento a los drenes entubados.

En este punto de ubicación de los buzones, se ha considerado que la profundidad del colector deberá ser como mínimo igual a la profundidad de los drenes parcelarios más 5cm tal como se indican en el Plano N° 8.

## **CAPITULO VI**

### **ENSAYO DE EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DRENAJE**

#### **6.1 ENSAYO REALIZADO**

Se realizó el ensayo que consiste en la comparación de la eficiencia de evacuación de tres diferentes sistemas de drenaje, con tres diferentes elementos de filtros envolventes respectivos, cuya representación se ejecutó con maquetas, teniendo en cuenta que estas tengan las mismas condiciones geométricas e hidráulicas. Este ensayo es detallado con procedimientos, valores, resultados y observaciones en la sección de anexos de la presente tesis.

##### **6.1.1 Sistema más eficiente**

Según los resultados obtenidos del ensayo (Etapa I) (especificado en los anexos), el sistema de mayor eficiencia es el conformado por el geocompuesto Mc Drain. Este material utiliza un drenante vertical que facilita el paso del agua hacia la tubería a diferencia del sistema en el que el geotextil cubre el filtro envolvente de grava, ocasionando una interrupción al flujo hacia el dren.

La parte vertical del geocompuesto da al flujo un acceso directo hacia el dren incrementando considerablemente su eficiencia. Además de ser más confiable, porque cubre el perímetro de la tubería impidiendo que el material fino que arrastra el agua, entre por los agujeros, evitando así el problema de tubificación.

##### **6.1.2 Colocación del geocompuesto**

En la interfase entre el filtro protector y la abertura en el perímetro de la tubería, se forma una capa límite que se opone al paso del agua, ocasionando una resistencia al flujo. Cuando el geocompuesto es colocado alrededor del tubo cubriendo los agujeros, aumenta la resistencia al paso del agua, aunque siempre se busca incrementar la eficiencia de descarga.

Esta resistencia es muy pequeña, y no ocasiona bajas significativas al módulo de descarga.

Para aminorar el efecto antes mencionado se comparó entre dos diferentes maneras de colocar el geocompuesto con la tubería. Se pudo observar lo siguiente:

- 1) **CASO 1.-** El poco espesor del geotextil hace que la transmisibilidad del agua a través de él sea directa obteniendo mayores módulos de descarga.
- 2) **CASO 2.-** El espesor del geocompuesto obstruye el paso directo del agua hacia las perforaciones de la tubería, incrementando la resistencia al paso del agua, obteniéndose menores módulos de descarga en comparación del caso 1.

### 6.1.3 Distribución y diámetro de los agujeros

El tipo de abertura que se practica en las tuberías son las perforaciones y las ranuras, las que pueden ser realizadas con taladros o discos, y son diseñados según los siguientes criterios:

- La relación que debe existir entre la mayor dimensión de la abertura y el tamaño de los granos del filtro está dada por la siguiente expresión:

$$D_{85_F} \geq 0,5 \times \Phi_{\text{agujero}}$$

Donde:

$D_{85_F}$ : Tamaño máximo de la abertura del tamiz que pasa el 85% del material

$\Phi_{\text{agujero}}$ : Diámetro de las aberturas.

- El total de área efectiva en las perforaciones por metro lineal del tubo no deberá ser menor a  $12 \text{ cm}^2$ , para tuberías de  $\Phi = 4''$ .

### 6.1.4 Distribución de las aberturas

Las perforaciones deberán estar distribuidas de manera uniforme alrededor del perímetro del tubo dren, no menos de cuatro filas, con una diferencia mínima de 10 cm entre dos perforaciones hechas en una misma fila.

**CUADRO N° 6.1****NÚMERO DE PERFORACIONES POR CANTIDAD DE FILAS**

Número de filas de perforaciones	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de perforac. hechas en c/ fila	10	8	7	6	5	4	4	4	4

Fuente: Annex Draft European standard on corrugated polyvinyl chloride drainpipes

**6.1.4.1 Distribución de los agujeros**

La distribución de los agujeros debe ser de mayor cantidad en la parte inferior, sin dejar de perforar la parte superior de la tubería. Tal como se observó en el ensayo, no todas las perforaciones trabajaron en todo momento, sino sólo los de la base, por ello vale tomar en cuenta una mayor área de perforaciones en esta zona. Sin embargo, es necesario que en la parte superior haya perforaciones auxiliares para cuando se obstruya la tubería.

**6.1.5 Resistencia al paso del agua hacia las aberturas de la tubería:**

Cuando el agua llega a la tubería, existen dos factores que ocasionan esfuerzos negativos al ingreso del agua.

Estas deben a diferentes motivos como son: La forma y textura exterior de la tubería, y cuando la capa límite que se forma entre el filtro envolvente y el área perforada está lleno de partículas de suelo.

Incrementando el número de perforaciones, se logra reducir la resistencia del paso del agua a la tubería y más efectivo aún disminuyendo el espaciamiento entre éstas. Aumentar el diámetro de las aberturas, generaría un problema mayor que es la de dejar pasar partículas de suelo.

**6.2 LIMITACIONES DEL ENSAYO REALIZADO**

Las limitaciones encontradas en el análisis del ensayo realizado fueron las siguientes:



- Se realizó un análisis dimensional de la prueba en general para poder determinar una ecuación matemática de la descarga obtenida, según las condiciones del sistema, pero debido a las dimensiones de la maqueta del dren, no se pudo simular la curva de descarga que forma el acuífero después de instalar las tuberías. Entonces no sería consistente tomar los valores obtenidos, como resultados para un supuesto modelo matemático, porque el error sería considerable.
- Para poder realizar un análisis dimensional, sería necesario contar con un área mayor, a escala natural, de modo que se empleen dos tuberías, para poder representar la curva de crecimiento y descenso del acuífero y de ésta manera determinar un modelo matemático; para luego poder precisar cuanto sería el aumento del espaciamiento entre drenes. Esto sería muy beneficioso en un proyecto de drenaje que implicaría menor costo en los materiales.
- No se pudo hacer una prueba detallada del trabajo de los agujeros, por que esto involucra mayor detalle y precisión, aunque en un trabajo posterior se podría realizar varias pruebas con diferentes distribuciones, para poder determinar hasta que ubicación precisa en la tubería. El agujero trabajaría con máxima eficiencia.
- En la prueba sólo se tomaron dos distribuciones de aberturas diferentes, pudiendo determinar cual es más eficiente entre ellas. Pero no podríamos precisar porcentajes de eficiencia una respecto a la otra, ni poder determinar un rango de área permisible con los valores con los que se cuenta. Faltarían varios detalles que ayudarían a un mejor diseño de aberturas del dren.

## **CAPITULO VII**

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA DE DRENAJE PROPUESTO**

#### **7.1 INVERSIÓN DEL PROYECTO**

Los proyectos de drenaje generalmente requieren importantes inversiones iniciales. La construcción de drenes superficiales, drenes subterráneos, obras de concreto como las entregas y obras de arte. Posteriormente los gastos de mantenimiento, para prolongar su tiempo de vida útil.

#### **7.2 COSTOS DE DRENES SUBTERRÁNEOS**

Elaborado el valor referencial del presente proyecto, se observa que el costo de la construcción de los drenes subterráneos, representa el 39% del costo total, tal como se muestra en la figura N° 7.1.

Este porcentaje refleja una participación importante de la construcción de los drenes subterráneos respecto al proyecto total, lo que indica que cualquier disminución de costo en estas partidas, representará una disminución en la inversión del proyecto.

##### **7.2.1 Drenes subterráneos**

De todas las partidas que intervienen en la construcción de los drenes subterráneos, la "INSTALACION DE TUBERIA Y FILTRO PROTECTOR", representa el 44.11% de costo total de los drenes subterráneos, tal como se representa en la figura N° 7.2, además esta es la que diferencia una alternativa de la otra. Para mejor interpretación denominaremos a las partidas de la siguiente manera:

##### **7.2.1.1 Sistema convencional**

Lo denominamos SISTEMA A, consiste en instalar las tuberías de drenaje con filtro protector de grava, previamente diseñada, envuelta con geotextil, para

proteger y estabilizar el dren. Para lo que se utiliza la partida nombrada "SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS CON FILTRO PROTECTOR DEL DREN", análisis que se muestra en el cuadro N° 7.1.

#### **7.2.1.1 Sistema con geocompuestos (MAC DRAIN)**

Lo designamos SISTEMA B, a la alternativa propuesta utilizando el geocompuesto **MAC DRAIN** como filtro del sistema de drenaje. En el cuadro N° 7.2 se presenta el análisis de costo de la partida nombrada "SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO CON GEOCOMPUESTOS PARA DREN".

Como resultado de la comparación de los cuadros N°7.1 y 7.2, encontramos que el costo del sistema B, es menor en 57.93% respecto al sistema A, reflejando un impacto favorable en la inversión con la aplicación de esta alternativa. (Ver figura N° 7.3).

### **7.3 VENTAJAS ECONÓMICAS**

#### **7.3.1 Costos de construcción**

Hecha la comparación porcentual de los costos del sistema A respecto al presupuesto total, encontramos que ésta representa el 17.20%.

Del análisis anterior sabemos que el costo del sistema B, es el 43.07% del sistema A. Entonces el sistema B representa el 7.24% del presupuesto total, esto indica una economía de 9.96%, tal como se representa en las figuras N° 7.4 y 7.5

#### **7.3.2 Costos de mantenimiento de los drenes**

Los costos de mantenimiento de los drenes, es imprescindible, durante toda la vida útil del dren. Cabe señalar que con esta alternativa, se prolonga el tiempo de mantenimiento de los drenes, debido a que las tuberías están protegidas del sedimento, reflejando ahorros en los gastos de mantenimiento que a la larga representan sumas significativas.

**CUADRO N° 7.1**

**SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO CON GRAVA PARA**

**DREN**

P.U.= 110.71

Rd: 120 M/DIA

EQ: 120

M.O: 120

DESCRIPCIÓN	UND.	CDRA.	CANT.	P.U.	PARCIAL	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>						<b>5.84</b>
Capataz	HH	0.50	0.03	14.26	0.43	
Operario	HH	1.00	0.07	11.88	0.83	
Oficial	HH	1.00	0.07	10.63	0.74	
Peón	HH	6.00	0.40	9.60	3.84	
<b>Materiales</b>						<b>75.57</b>
Geocompuesto de drenaje	M2		1.25	19.50	24.38	
Tubería de PVC D=4"	M		1.00	27.00	27.00	
Arena de filtro	M3		0.82	29.50	24.19	
<b>Equipos</b>						<b>1.84</b>
Herramientas manuales	%MO	1.00	5.00 %	5.84	0.29	
Compactadora Vib. 4HP	HM		0.07	22.15	1.55	
<b>Subpartidas</b>						<b>27.46</b>
Estibo y transporte de material	M3		0.72	38.14	27.46	

**CUADRO N° 7.2**

**SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO CON GEOCOMPUESTOS PARA DREN**

P.U.= 261.15

Rd: 20 M/DÍA

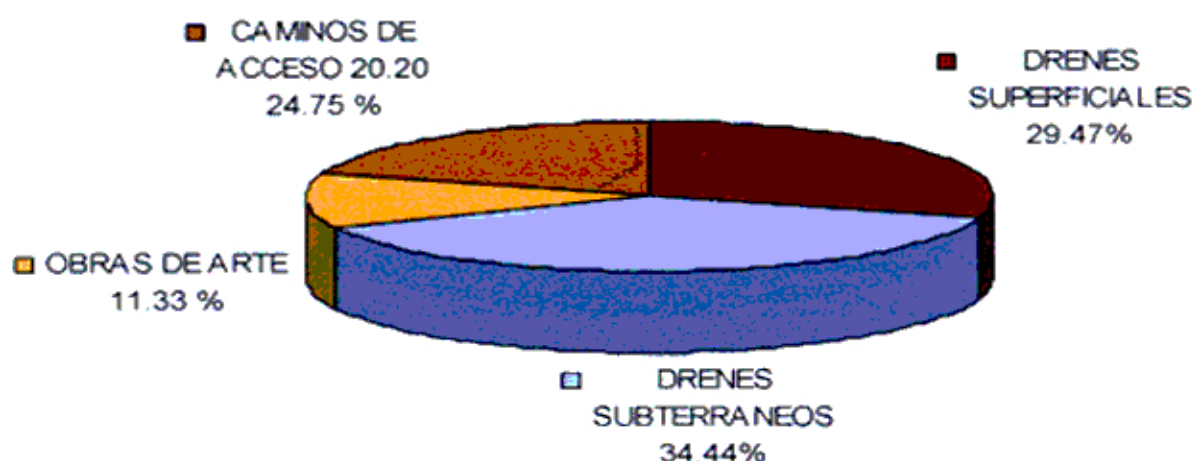
EQ: 20

M.O: 20

DESCRIPCIÓN	UND.	CDRA.	CANT.	P.U.	PARCIAL	TOTAL
<b>Mano de Obra</b>						<b>34.90</b>
Capataz	HH	0.50	0.20	14.26	2.85	
Operario	HH	1.00	0.40	11.88	4.75	
Oficial	HH	1.00	0.40	10.63	4.25	
Peón	HH	6.00	2.40	9.60	23.04	
<b>Materiales</b>						<b>188.19</b>
Geotextil no tejido	M2		3.90	5.13	19.99	
Tubería corrugada 4"	M		1.00	27.00	27.00	
Grava	M3		0.72	198.89	143.20	
<b>Equipos</b>						<b>10.60</b>
Herramientas manuales	%MO		5.00 %	34.90	1.74	
Compactadora Vib. 4HP	HM	1.00	0.40	22.15	8.86	
<b>Subpartidas</b>						<b>27.46</b>
Estibo y transporte de material	M3		0.72	38.14	27.46	

**FIGURA N° 7.1**

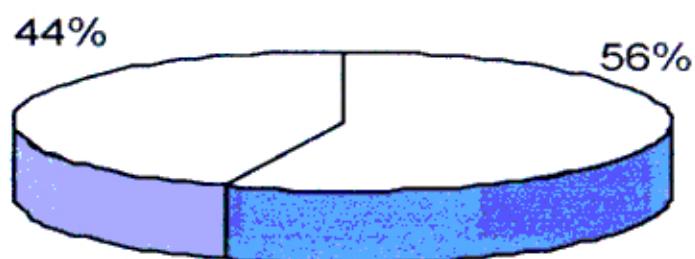
**REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE COSTOS DEL PROYECTO DE DRENAJE SEGÚN SU DESCRIPCIÓN**



DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA
DRENES SUPERFICIALES	29.47 %
DRENES SUBTERRANEOS	34.44 %
OBRAS DE ARTE	11.33 %
CAMINOS DE ACCESO	24.75 %

**FIGURA N° 7.2**

**REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE COSTOS DE LA PARTIDA  
 MENCIONADA RESPECTO AL COSTO TOTAL**



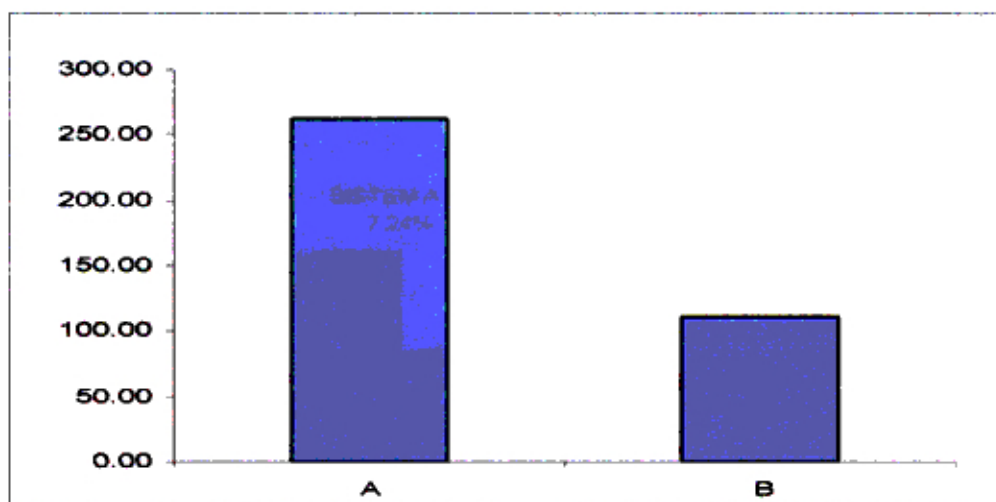
- OTRAS PARTIDAS
- SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PERFORADA Y FILTRO PROTECTOR

**LEYENDA**

DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA
OTRAS PARTIDAS	55.89%
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PERFORADA Y FILTRO PROTECTOR	44.11%

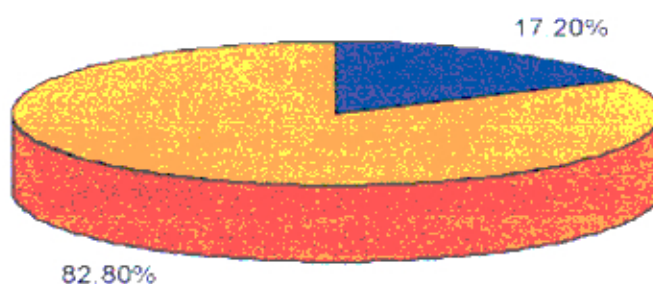
**FIGURA N° 7.3**

**COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA "A" RESPECTO AL SISTEMA "B"**



**FIGURA N° 7.4**

**REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DEL COSTO DE LA PARTIDA DE SISTEMA "A" RESPECTO AL COSTO TOTAL**



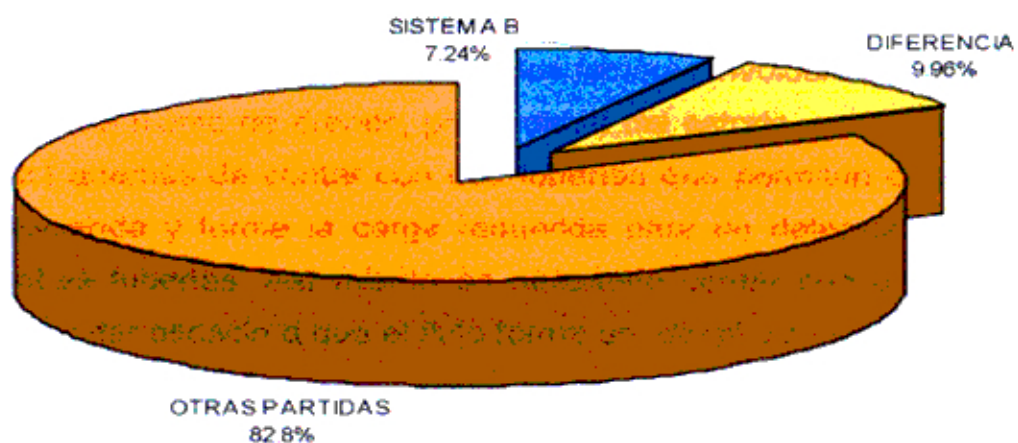
**LEYENDA**

DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS CON FILTRO PROTECTOR DEL DREN	17.20%
OTRAS PARTIDAS	82.80 %



**FIGURA N° 7.5**

**REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DEL COSTO DE LA PARTIDA DE SISTEMA "B" RESPECTO AL COSTO TOTAL**



## CONCLUSIONES

- La aplicación de geosintéticos en el diseño del drenaje agrícola garantizan la optimización del sistema permitiendo evacuaciones mayores de agua y obteniendo terrenos agrícolas con menor cantidad de sales.
- No fue posible obtener modelo matemático que caracterice este fenómeno aplicando el análisis dimensional respectivo, ya que para ello se requiere de un sistema que cuente con todos los factores involucrados en este fenómeno (espaciamiento de drenes, profundidad del estrato, permeabilidad del suelo, etc.) además de contar con dos tuberías que permitan que el nivel freático descienda y forme la carga requerida para un determinado espacio entre ambas tuberías. Así mismo es necesario contar con un área mayor para poder dar espacio a que el flujo forme un desplazamiento vertical, horizontal y radial.
- La utilización de los geosintéticos en el diseño del sistema de drenaje agrícola, reduce significativamente los costos en comparación con el sistema de drenaje agrícola tradicional, especialmente en la fabricación del filtro envolvente. Además nos da la seguridad de contar con un mejor funcionamiento.
- Con el uso de geosintéticos en el diseño tenemos la seguridad que la tubería cuenta con mayor protección de partículas finas existentes en el suelo, reduciendo la posibilidad de obstrucción de las tuberías, de manera que no será necesario que los drenes estén en constante mantenimiento, lo que redundará en un beneficio a corto y largo plazo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos para los sistemas de drenaje teniendo en cuenta las dimensiones y condiciones que se dan en el flujo subterráneo y así determinar un modelo matemático.
- Realizar investigaciones de todas las resistencias al paso del agua que se presentan en el sistema, con el fin de plantear posibles soluciones que conlleven a la disminución de estos esfuerzos.
- Se recomienda hacer un estudio más detallado del flujo y esfuerzo radial según la ubicación del impermeable, ya que estos valores son significativos para el cálculo del caudal de descarga de los drenes.
- El comportamiento de las aberturas en la tubería de drenaje es un tanto complejo por lo cual se recomienda hacer un estudio más profundo sobre los rangos de las áreas a perforar y la distribución de agujeros para una mayor eficiencia.
- La colocación de los geocompuestos en el sistema son de gran importancia ya que facilitan el paso del agua hacia la tubería por lo que sería conveniente realizar pruebas comparativas y encontrar la manera más viable de colocación de los geocompuestos en el sistema, lo que incrementaría la eficiencia de descarga.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Armco International Corporation; "Manual de drenaje y productos de construcción", Middleton, Ohio EEUU. 1984
- 2.- Davis, Stanley N; De Wiest, Roger J.M.; "Hidrogeología"; Ediciones Ariel Barcelona, España. 1971
3. - Koerner, Robert M. "Designing with geosynthetics"; Fourth Edition Prentice Hall; New Jersey; 1999.
- 4.- Luthin James N; "Drenaje de tierras agrícolas"; Editorial Limusa Wiley S.A. 1967.
- 5.- Martínez Beltrán, J; Dierickx, W; Stuyt, L.C.P.M.; "Materials for subsurface land drainage systems"; FAO Irrigation and drainage paper 60; Roma Italia; 2000.
6. - Ministry of agriculture, food and fisheries; "Cultural drainage criteria"; British Columbia; 2002.
- 7- Pizarro, Fernando; "Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos"; Editora Agrícola Española; S.A Madrid; 1978.
- 8.- Puiggros ingenieros consultores; capítulo IV: Programa de desarrollo Hidráulico: "Drenaje y rehabilitación de suelos", Lima Perú; 1984.
- 9.- Rázuri Ramírez, Luis; Carlos Alva, A; "Ecuaciones para el cálculo de espaciamiento de drenes"; Mérida Venezuela; 1978.
- 10.-Virginia Department of transportation; Drainage manual chapter 15: "Drainage design instructions"; Virginia, United States; 1984.