

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



Informe del Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Diseño de obras de conservación de suelos para el manejo de aguas superficiales y control de  
cárcavas en el cultivo de piña

Javier Zúñiga Obando

CARTAGO, 2011

Diseño de obras de conservación de suelos para el manejo de aguas superficiales y control de cárcavas en el cultivo de piña

Javier Zúñiga Obando

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

---

Adrián Chavarría Vidal  
Asesor - Lector

---

Milton Solórzano Quintana  
Director Escuela  
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2011

## **Dedicatoria**

A mis padres Gerardo Zúñiga y Rosa Obando, quienes con su trabajo y esfuerzo me han enseñado el camino a seguir en busca de mi superación personal.

## **Agradecimiento**

A Dios Todopoderoso, por estar siempre conmigo y por haberme permitido desarrollar mis conocimientos con la finalidad de lograr mis metas personales.

A mis padres Gerardo y Rosa María, hermanos (as) Francell, Gustavo, Lucía, Lizeth y Jeffrey, y a mi cuñado Cesar Loaiza, quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional sin importar los obstáculos, y quienes hoy día son parte importante de este logro.

A la compañía Del Monte, Pindeco, por haberme abierto las puertas para el desarrollo del proyecto, y por permitirme desarrollar mis conocimientos en el campo laboral al lado de personas de mucha capacidad y experiencia.

A los ingenieros Adrián Montoya y Mario Cordero por la oportunidad brindada a mi persona de desarrollar mi proyecto en la empresa, y por los consejos y experiencia laboral transmitida.

Al profesor Adrián Chavarría de la Escuela de Ingeniería Agrícola, por brindarme su apoyo y comprensión en la elaboración del proyecto, aspectos que fueron muy importantes para la culminación del mismo.

A los profesores y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Agrícola, quienes a lo largo de estos años me han ayudado a formarme como persona y como profesional.

A todos ellos con mucho cariño y aprecio.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Cultivo de piña.....	5
2.1.1 Características fisiológicas del cultivo de piña.....	5
2.1.2 Situación del cultivo de piña en Costa Rica.....	7
2.1.3 Requerimientos climáticos y ambientales del cultivo de piña.....	8
2.2 Caracterización de suelos.....	9
2.2.1 Textura del suelo.....	9
2.2.2 Estructura del suelo.....	12
2.2.3 Densidad aparente.....	13
2.2.4 Densidad real.....	14
2.2.5 Porosidad del suelo.....	14
2.2.6 Conductividad Hidráulica.....	15
2.2.7 PH del suelo.....	17
2.3 Capacidad de uso de los suelos.....	18
2.3.1 Uso de los suelos.....	18
2.3.2 Evaluación de los suelos.....	18
2.3.3 Clasificación de la capacidad de uso del suelo.....	19
2.3.4 Parámetros evaluados de la capacidad de uso de las tierras.....	22
2.4 Erosión del suelo.....	25
2.4.1 Erosión hídrica.....	26

2.4.2 Erosión por cárcavas .....	27
2.5 Escorrentía superficial.....	36
2.5.1 Método Racional.....	37
2.6 Conservación y manejo adecuado de los suelos.....	42
2.6.1 Técnicas agronómicas de conservación de suelos.....	43
2.6.2 Obras mecánicas de conservación de suelos .....	44
2.6.3 Beneficios de la conservación de suelos .....	52
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>54</b>
3.1 Consideraciones generales .....	55
3.1.1 Descripción general de la finca .....	55
3.2 Muestreo de suelos .....	56
3.3 Determinación de la textura del suelo .....	56
3.4 Determinación de la estructura del suelo .....	56
3.5 Determinación de la densidad aparente del suelo .....	57
3.6 Determinación del porcentaje de porosidad del suelo.....	57
3.7 Determinación de la Conductividad Hidráulica.....	57
3.8 Determinación del pH del suelo.....	57
3.9 Determinación de la capacidad de uso del suelo.....	57
3.9.1 Estudios topográficos .....	57
3.9.2 Clasificación del terreno por su capacidad de uso .....	58
3.10 Control de erosión en cárcavas .....	58
3.11 Diseño de las obras de conservación de suelos.....	58
3.11.1 Determinación del caudal de diseño.....	59
3.11.2 Determinación del espaciamiento entre acequias de ladera .....	60
3.11.3 Dimensionamiento de las acequias de ladera.....	60
<b>IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1 Consideraciones generales .....	62
4.2 Propiedades físicas del suelo en estudio .....	62
4.3 Clasificación del suelo de acuerdo a la capacidad de uso .....	64
4.4 Control de erosión hídrica en cárcavas .....	65

4.5	Diseño de las acequias de ladera.....	66
4.5.1	Caudal de diseño.....	67
4.5.2	Dimensionamiento de las acequias de ladera.....	68
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1	Conclusiones.....	71
5.2	Recomendaciones.....	71
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	72
	ANEXOS.....	75
	ANEXO 1. Caudales de diseño y parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.....	76
	ANEXO 2. Planos del lote.....	98
	ANEXO 3. Recomendaciones y consideraciones para el diseño de canales.....	100
	ANEXO 4. Capacidad de uso de los suelos.....	103

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores de densidad aparente según textura. ....	13
Cuadro 2. Valores frecuentes de K según textura. ....	17
Cuadro 3. Categorías de pendientes. ....	22
Cuadro 4. Zonas de vida para Costa Rica. ....	24
Cuadro 5. Categorías de período seco. ....	25
Cuadro 6. Distanciamientos para diques de recuperación de cárcavas. ....	35
Cuadro 7. Intensidades máximas para algunas ciudades de Costa Rica. ....	40
Cuadro 8. Valores para el coeficiente de escorrentía (C). ....	42
Cuadro 9. Relaciones geométricas para canales. ....	48
Cuadro 10. Determinación de "a" según precipitación. ....	51
Cuadro 11. Factor b, según condición hidrológica. ....	51
Cuadro 12. Grupos hidrológicos de suelos. ....	52
Cuadro 13. Resultados de la textura y estructura de los horizontes muestreados. ....	62
Cuadro 14. Resultados del análisis del suelo en estudio. ....	63
Cuadro 15. Clasificación del terreno según su capacidad de uso. ....	64
Cuadro 16. Clasificación definitiva del lote en estudio. ....	65
Cuadro 17. Parámetros de diseño para los diques de control de cárcavas. ....	65
Cuadro 18. Distanciamientos entre acequias de ladera según pendiente del terreno. ....	66
Cuadro 19. Caudal de diseño para las acequias de ladera. ....	67
Cuadro 20. Diseño hidráulico de las acequias de ladera. ....	69

Cuadro A1. 1. Caudales de diseño para las acequias de ladera. ....	76
Cuadro A1. 2. Parámetros hidráulicos de las acequias de ladera. ....	87
Cuadro A3. 1. Velocidades máximas recomendadas para canales. ....	100
Cuadro A3. 2. Pendientes recomendadas para distintos tipos de suelo. ....	101
Cuadro A3. 3. Anchos de solera recomendados según caudal. ....	101
Cuadro A3. 4. Bordo libre recomendado según caudal a evacuar. ....	101
Cuadro A3. 5. Valores de n según condición del terreno. ....	102
Cuadro A3. 6. Valores teóricos del coeficiente de Manning. ....	102
Cuadro A4. 1. Parámetros para la determinación de la capacidad de uso de los suelos. ....	104
Cuadro A4. 2. Concentración de bases y acidez para el lote en estudio. ....	107
Cuadro A4. 3. Condiciones químicas del lote en estudio. ....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes partes del cultivo de piña. Fuente: Treesaregood.com .....	6
Figura 2. Triángulo de texturas (SCSEU).....	11
Figura 3. Medida de la Conductividad Hidráulica.....	16
Figura 4. Formación de cárcavas. ....	27
Figura 5. Dique construido a base de troncos.....	29
Figura 6. Dique construido a base de piedra.....	30
Figura 7. Partes de un dique o muro para control de cárcavas. ....	31
Figura 8. Formas comunes para el diseño del vertedero.....	32
Figura 9. Empotramiento del delantal.....	33
Figura 10. Gradiente estable entre diques.....	34
Figura 11. Distanciamiento adecuado entre diques dentro de la cárcava. ....	34
Figura 12. Acequias de ladera en cultivo de piña. ....	44
Figura 13. Parámetros de un canal de sección trapezoidal. AutoCAD 2007.....	46
Figura 14. Parámetros de un canal de sección triangular. AutoCAD 2007.....	46
Figura A2. 1. Plano de curvas de nivel del área en estudio. ....	98
Figura A2. 2. Trazo de las acequias de ladera en el terreno. ....	99
Figura A4. 1. Zonas de vida en Costa Rica. ....	103

## **RESUMEN**

El proyecto se desarrolló en la zona de Buenos Aires, Puntarenas, en un terreno perteneciente a Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte, División Pindeco Pacífico y denominado Lote 137, con la finalidad de identificar los problemas de erosión ocasionados por la escorrentía superficial y proponer una solución mediante un diseño de obras de conservación de suelos.

Para la elaboración del proyecto se realizó un levantamiento topográfico, el cual permitió definir las pendientes del terreno. Así mismo, se llevó a cabo un muestreo de suelos mediante calicatas hechas en lugares representativos del lote, de las cuales se tomaron diferentes muestras para su análisis y se determinaron las características físicas y químicas del mismo mediante pruebas de laboratorio.

Posteriormente se llevó a cabo la clasificación del suelo de acuerdo a su capacidad de uso utilizando los parámetros obtenidos mediante las pruebas realizadas en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del ITCR. Además, se contó con la ayuda del Departamento de Investigación (Research) de la empresa Pindeco para la obtención de algunos otros parámetros del suelo en estudio.

De esta forma, una vez evaluados los problemas de campo presentes en el lote 137, se procedió a diseñar las acequias de ladera para el manejo de aguas superficiales, así como métodos prácticos para el control de erosión hídrica en cárcavas, además se hicieron las recomendaciones pertinentes para evitar posibles problemas de contaminación por arrastre de sedimentos a las zonas de descarga de los drenajes principales o acequias de ladera.

Palabras clave: erosión hídrica, escorrentía superficial, cárcavas, conservación de suelos, acequias de ladera.

## **SUMMARY**

The Project was developed in Buenos Aires Puntarenas, in a property called “Lote 137” owned by Del Monte Agricultural Development Corporation, Pacific Pindeco Division. The purpose of this project is to identify erosion troubles caused by surface runoff and bring forward a solution by land conservation construction works design.

To this project elaboration, the land relief or land conformation was established with the use of a land survey that helped define the land slope. Also, a land sampling was performed by pits made in representative property places. Once the land samples were taken, the physical and chemical characteristics were determined by using lab test.

Subsequently land classification was conducted, based on use capacity and using the parameters or reference values taken from lab test performed in Agricultural Engineering Land Lab of ITCR. Also, the Research Department of Pindeco helped in the process to get other parameters from the land studied.

Thus, after assessing the field problems in property 137, I proceeded to design the hillside ditches for surface water management, as well as practical methods for hydric erosion control in gullies. Also, pertinent recommendations were made to avoid possible contamination troubles by sediment-laden in discharge zones of main drains or hillside ditches.

Key words: hydric erosion, surface runoff, gullies, land conservation, hillside ditches.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Hoy en día y cada vez más las tasas de erosión son aceleradas por el hombre, teniéndose como consecuencia que la capacidad de productividad de los suelos erosionados es menor que la de los suelos no erosionados; por lo tanto se deben reducir los efectos perjudiciales que implica dicho fenómeno y es necesario implementar técnicas agronómicas viables, así como también en caso de ser necesario estructuras mecánicas que actúen de manera preventiva y correctiva.

En lugares que presentan precipitaciones de altas intensidades y largas duraciones, así como pendientes pronunciadas y terrenos con topografía irregular, es necesario complementar las obras agronómicas con obras físicas estructurales con el fin de evitar la erosión y la formación de cárcavas que se generan producto del escurrimiento superficial que existe.

El proyecto a desarrollar está ubicado en finca Buenos Aires, en el cantón de Buenos Aires de Puntarenas, y pertenece a Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte, División Pindeco Pacífico. Dicho terreno presenta problemas de escorrentía superficial además de la formación de cárcavas en las zonas de descarga de los canales de drenajes existentes.

Aunque el implementar estructuras físicas no aumenta la productividad del suelo, ésta sí se mantiene, ya que dichas obras brindan protección contra la degradación, control de escorrentía, y desvían el agua superficial hacia cauces naturales o artificiales que han sido diseñados previamente.

Acorde a lo mencionado anteriormente, el objetivo de este proyecto gira en torno al diseño de obras de conservación de suelos, para el control de la erosión y el manejo de aguas superficiales y control de cárcavas en el cultivo de piña.

Objetivo General:

Diseñar obras de conservación de suelos para el manejo de aguas superficiales y control de erosión en cárcavas en el cultivo de piña.

Objetivos Específicos:

Determinar las condiciones actuales del área en estudio por medio de visitas de campo, para identificar posibles problemas de erosión y zonas críticas.

Determinar las principales características físicas y químicas del terreno con la finalidad de analizar y proponer los métodos más adecuados para el control de erosión y escorrentía superficial.

Diseñar las estructuras pertinentes para el control de la erosión hídrica en cárcavas.

Diseñar las obras de conservación de suelos necesarias para el control y manejo de las aguas superficiales ocasionadas por la escorrentía.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

## **2.1 Cultivo de piña**

Según Castro (1998), en Costa Rica el cultivo de piña ha experimentado un incremento significativo en los últimos años, constituyendo una alternativa de diversificación agrícola y desarrollo para el país, así como una fuente importante de divisas.

A nivel mundial los principales productores de esta fruta son: Hawái, Filipinas, Costa de Marfil y Brasil, pero su cultivo en países de Centro América y América del Sur se ha ido incrementando.

### **2.1.1 Características fisiológicas del cultivo de piña**

- Taxonomía:

El Ananás *comosus* L (piña) es una planta herbácea perenne, terrestre, creciendo aproximadamente un metro de alto, con tallo corto y peciolos expandidos y apropiadamente juntos formando un tipo de tanque de almacenamiento de agua en la base de la planta, (Py, 1969).

Las hojas actúan como áreas de conducción, contención y como tanques de reservorio. El agua es absorbida desde estos “tanques”, cuando sea necesario por medio de sus raíces adventicias parecidas a pelos en las hojas.

- Clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

Clase: Magnoliopsida

Orden: Bromeliales

Familia: Bromeliaceae

Género: Ananás

Especie: *A. comosus* (L) Merr

- Ciclo vegetativo o propagación:

El método comúnmente usado para la producción de plantas comerciales de piña es el vegetativo.

Existen tres tipos de materiales:

a) Chupones: provienen de yemas vegetativas que salen del tallo (cualquier yema axilar de las hojas pueden formar un chupón).

b) Esquejes: estos se diferencian de los chupones en que tienen una base abultada y son inflorescencias abortadas.

c) Coronas del fruto: consisten en el follaje que tiene el fruto en la parte superior.

Después de la recolección del fruto, las yemas axilares del tallo prosiguen su desarrollo y forman una nueva planta semejante a la primera, que da un segundo fruto de tamaño inferior al primero, al tiempo que las yemas axilares del pie-hijo se desarrollan a su vez para dar un tercer fruto. De esta forma pueden sucederse numerosas generaciones vegetativas, pero en la práctica no resulta rentable ir más allá de las dos o tres cosechas, (Lipiec, 2002).

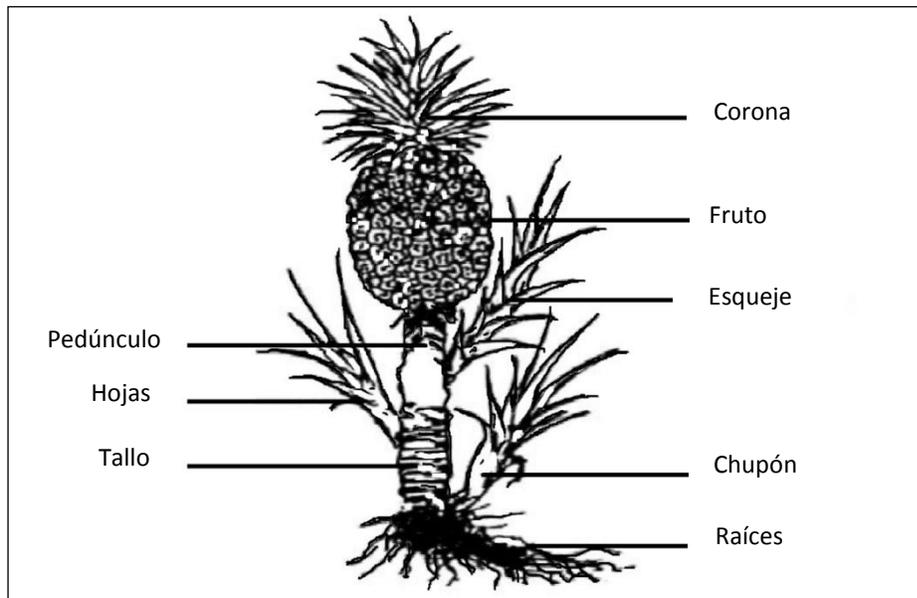


Figura 1. Diferentes partes del cultivo de piña. Fuente: Treesaregood.com

### **2.1.2 Situación del cultivo de piña en Costa Rica**

Las zonas de producción se ubican principalmente en Buenos Aires de Puntarenas, en el cantón de San Carlos, Sarapiquí, Grecia, Siquirres, Guápiles, Pérez Zeledón, Esparza, Orotina y en el pacífico central. La piña es originaria de América del Sur de la región de Matto Grosso, entre Uruguay y Brasil. Se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales.

En Costa Rica se producen comercialmente cinco variedades (MAG, 2011):

- Cayena Lisa (hawaiana): Del grupo de las Cayenne, es la principal variedad destinada a la industrialización, es la variedad más importante del mundo, ya que tiene buenas cualidades para la industria enlatadora y de néctares. Posee de 60 a 80 hojas sin espinas a excepción de la parte terminal de la hoja, fruta cilíndrica, ojos poco profundos, peso promedio en un rango entre los 2 a 4 kilogramos con una escasa producción de hijuelos, de corazón pequeño.
- Champaka F-153: Es un clon puro de la variedad Cayena Lisa, es más resistente a enfermedades que las otras variedades, es una variedad con gran aceptación y alta demanda en los mercados de exportación.
- Española Roja: Principalmente para consumo como fruta fresca, posee una buena producción de hijos. Fruta de forma cónica y ovalada, de tamaño mediano, con hojas largas estrechas y espinosas, existe una variante con pocas espinas, con un borde central rojizo. Pulpa de color amarilla pálida, poco sensible a las enfermedades. El peso promedio de la fruta es entre 1 a 2,5 kilogramos. Muy resistentes al transporte.
- MD2: Es una variedad de reciente introducción al país que por su presentación y aroma está catalogada como una fruta de lujo en los mercados externos.

- Montelirio: Poco sensible a enfermedades, hojas sin espinas en los bordes, frutos entre los 2,5 a 3 kilogramos, de pulpa blanca. Principalmente para consumo de fruta fresca, y jugo, no se recomienda para el enlatado por tener los ojos profundos y el corazón grande. Ideal para el mercado nacional.

### **2.1.3 Requerimientos climáticos y ambientales del cultivo de piña**

#### a) Temperatura:

La temperatura es el factor más importante en la producción; jugando un papel fundamental en la formación, madurez y calidad del fruto. La temperatura anual requerida para un adecuado crecimiento oscila entre 23 y 30 grados centígrados, con un óptimo de 27 grados centígrados. Temperaturas inferiores a 23 grados, aceleran la floración, disminuyendo el tamaño del fruto y haciéndolo más ácido y perecedero, mientras que temperaturas superiores a 30 grados, pueden quemar la epidermis y tejidos subyacentes ocasionando lo que se llama “golpe de sol”.

#### b) Precipitación:

La piña requiere de una precipitación pluvial media anual entre 1500 y 3500 milímetros. Su morfología la hace poco exigente y soporta regímenes desde 1000 mm anuales bien distribuidos. Aunque es poco exigente, la falta de agua en la etapa inmediata después de la siembra y en el inicio de la floración y formación del fruto retarda el crecimiento de la planta y reduce el tamaño del fruto.

#### c) Luminosidad:

El número de horas brillo solar por año deben superar las 1200 horas considerando óptimo más de 1500 horas luz anuales. Una iluminación muy intensa causa quemaduras en la superficie del fruto, mientras que si la intensidad es baja, se produce disminución en el contenido de azúcar, elevando la acidez del jugo.

d) Altura de siembra:

Cultivo estable en la mayor parte de los trópicos, aunque la piña tiene más éxito si se cultiva entre 300 a 900 msnm teniendo un rango de 0 a 1200 msnm.

e) Suelos:

La piña puede cultivarse en la mayoría de suelos, siempre que sean profundos, fértiles y que tengan buen drenaje. El pH óptimo está entre 5,5 – 6,2; suelos con pH elevados dan lugar a la aparición de clorosis calcárea (deficiencia de hierro) y pH menores de 5,5 afectan el crecimiento de la raíz y la disponibilidad de nutrientes potasio y calcio

## **2.2 Caracterización de suelos**

### **2.2.1 Textura del suelo**

La textura del suelo es la relación porcentual de las partículas minerales menores en tamaño a dos milímetros que corresponden a las arenas, limos y arcillas. La importancia de su determinación radica en su uso para identificar perfiles y en mapeo de suelos, además para determinar propiedades químicas como CIC, y propiedades físicas como retención de humedad, consistencia, velocidad de infiltración, erodabilidad del suelo entre otros, (Chavarría, 2010).

La textura puede determinarse por varios métodos, pero uno de los más utilizados es el método de Bouyoucos. Éste método consiste en un proceso de sedimentación de las partículas de arena, limo y arcilla a diferentes tiempos, midiéndose durante el proceso la concentración de sólidos en suspensión con un hidrómetro 152H (g/l).

Para el desarrollo de éste método se siguen los siguientes pasos:

- a) Se pesan en la balanza 40 gramos de la muestra de suelo secada con anterioridad por 24 horas en un horno a 110 °C.
- b) Se vierte la muestra en el vaso de la licuadora junto con 200 ml de agua y 15 ml de solución dispersante (Calgón), y se licúa durante 10 minutos.
- c) Se transfiere la mezcla a un cilindro de Bouyoucos, y se agrega agua destilada aforando con el hidrómetro hasta alcanzar un volumen de 1 litro. Se debe transvasar toda la mezcla al cilindro de Bouyoucos sin dejar rastros de suelo en el vaso de la licuadora de suelos.
- d) Se retira el hidrómetro del cilindro, y se agita manualmente por aproximadamente 35 segundos.
- e) Se realiza la primera medición a los 40 segundos de haber sacado el hidrómetro del cilindro, e inmediatamente se anota la temperatura a la cual se llevó a cabo dicha medición.
- f) Se saca el hidrómetro y se realizan las siguientes mediciones 2 horas después.

Se debe tomar en cuenta un factor de corrección por temperatura:

- Con cada °C por encima de 19,4 agregar 0,3 a la lectura original del hidrómetro.
- Con cada °C debajo de 19,4 restar 0,3 a la lectura original del hidrómetro.

Los porcentajes de arenas, limos y arcillas, se obtienen haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ material en suspensión} = \frac{\text{lectura corregida a } 40'' \times 100}{\text{peso de la muestra}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\% \text{ arenas totales} = 100 - \% \text{ material en suspensión} \dots \dots \dots (2)$$

$$\% \text{ arcillas totales} = \frac{\text{lectura corregida a las } 2h \times 100}{\text{peso de la muestra}} \dots \dots \dots (3)$$

$$\% \text{ limos totales} = 100 - (\% \text{ arenas} + \% \text{ arcillas}) \dots \dots \dots (4)$$

Con los porcentajes obtenidos mediante las ecuaciones 1, 2, 3, y 4, se utiliza el triángulo de texturas desarrollado por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (figura 2) para identificar la textura del suelo muestreado.

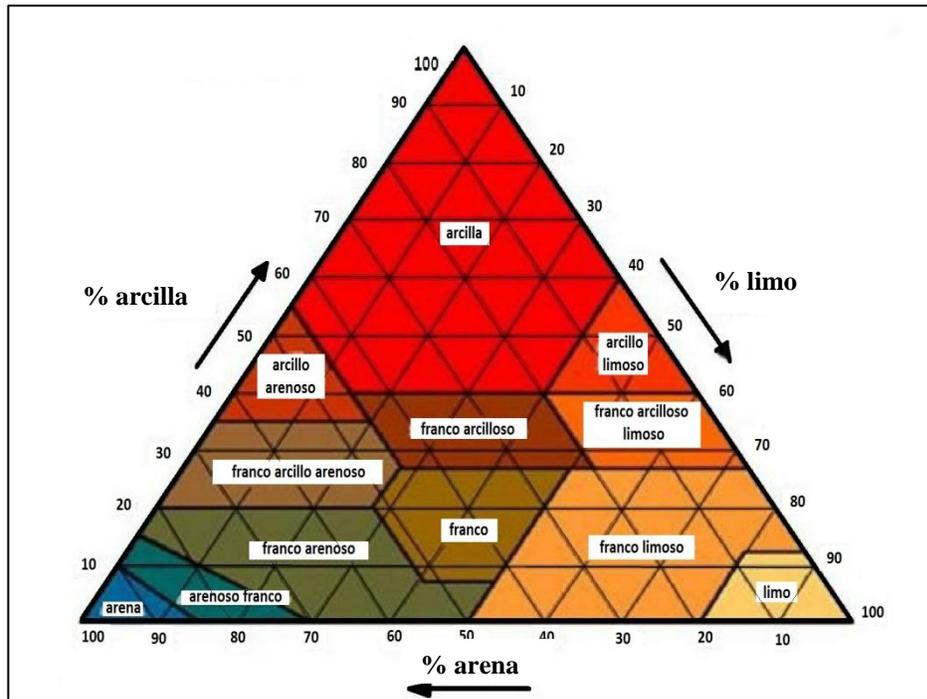


Figura 2. Triángulo de texturas (SCSEU).

### 2.2.2 Estructura del suelo

La estructura del suelo se define como el resultado de la combinación de los componentes primarios arenas, limos, arcillas y otros más grandes de naturaleza mineral junto a componentes orgánicos, los que por acción directa de materiales cementantes, se agregan y se forman los agregados del suelo llamados peds, (Chavarría, 2010).

En un estudio de estructura del suelo para su descripción se debe considerar:

- Forma de los agregados o tipo de estructura
- Tamaño de la estructura o clase de estructura
- Grado de desarrollo de la estructura

El procedimiento para la determinación de la estructura del suelo se describe a continuación:

a) Se toma una muestra de suelo indisturbado preferiblemente a capacidad de campo.

b) Se desmenuza la muestra, teniendo especial cuidado de no modificar la estructura original de los peds.

c) Se clasifican los peds de acuerdo a su tamaño haciendo uso de la guía (Manual de Laboratorio de Edafología) según sea su forma, y se disponen para su cuantificación acorde a las categorías de:

1 - Muy grueso,

2 - Grueso,

3 - Mediano

4 - Fino

5 - Muy fino.

d) Se determina la masa de las categorías anteriormente cuantificadas y se registran los resultados para obtener los porcentajes relativos en número y masa, así como el porcentaje verdadero de representación de cada una de las categorías en la muestra para obtener la clase o tamaño de estructura predominante.

e) Se describe la estructura en el orden de: tipo, clase y grado.

### 2.2.3 Densidad aparente

La densidad aparente está relacionada con la textura del suelo, y es un buen indicador de compactación ya que, cuanto mayor sea la compactación presente en el suelo, mayor será la densidad aparente del mismo.

El cuadro 1 presenta los valores frecuentes de densidad aparente en función de la textura del suelo:

Cuadro 1. Valores de densidad aparente según textura.

<b>Textura</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arcillosa	1,12 - 1,20
Franco arcillosa	1,20 - 1,28
Franca	1,28 - 1,44
Franco arenosa	1,44 - 1,60
Arenosa	1,60 - 1,76

Para la determinación de la densidad aparente se utiliza la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{P_{ss}}{V_s + V_p} \dots \dots \dots (5)$$

donde:

Da: Densidad aparente, (g/cm<sup>3</sup>)

Pss: Peso de suelo seco, (g)

Vs: Volumen de suelo, (cm<sup>3</sup>)

Vp: Volumen del espacio poroso, (cm<sup>3</sup>)

#### **2.2.4 Densidad real**

La densidad real o densidad de partículas, depende de la constitución química, mineralógica y del grado de hidratación de las partículas, y corresponde a la masa total de los sólidos dividido entre el volumen total de ellos, sin incluir el espacio poroso, (Chavarría, 2010).

La densidad real de los suelos minerales varía mucho menos que la densidad aparente. La mayor parte oscilan entre 2,6 y 2,7 g/cm<sup>3</sup>. A menos que se requieran datos muy precisos, suele suponerse que la densidad real de los suelos minerales es de 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

#### **2.2.5 Porosidad del suelo**

La porosidad del suelo se refiere a la relación entre el volumen total del suelo y el volumen ocupado por espacios con aire, agua o ambos. Para la determinación de la porosidad en suelos minerales se puede partir de la densidad aparente y de la densidad real, considerando el valor promedio de la densidad real en 2,65 g/cm<sup>3</sup>, (Núñez, 2006).

La ecuación para determinar la porosidad del suelo a partir de la densidad aparente y real se muestra a continuación:

$$P = \left( \frac{Dr - Da}{Dr} \right) \dots \dots \dots (6)$$

donde:

P: Porcentaje de poros en el suelo, (%)

Dr: Densidad real, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Da: Densidad aparente, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### **2.2.6 Conductividad Hidráulica**

La conductividad hidráulica es la habilidad del suelo saturado de permitir el paso de agua a través de él. Esta varía tanto en los horizontes de un mismo perfil de suelo como en diferentes clases y tipos de suelos, debido básicamente a la mineralogía, materia orgánica, manejo del suelo, viscosidad del fluido y otros, (Chavarría, 2010).

Las unidades usadas para expresar la conductividad hidráulica son de longitud por unidad de tiempo, siendo común utilizar  $\text{cm}/\text{s}$ ,  $\text{cm}/\text{min}$ ,  $\text{cm}/\text{h}$  y  $\text{m}/\text{d}$ .

Para la determinación de la conductividad hidráulica se emplea el método de carga constante, para el cual se debe seguir el siguiente procedimiento:

- a) Se toman muestras indisturbadas en cilindros, se dejan ambas caras planas, se coloca una tela tipo malla antiáfida en una de las caras y se aseguran con ligas de hule.
- b) Se introducen los cilindros sobre su lado cubierto en un recipiente y se llena con agua hasta que los cilindros queden casi cubiertos, de esta manera se asegura que las muestras se saturen de abajo hacia arriba.
- c) Con las muestras ya saturadas se coloca encima otro cilindro de igual diámetro y se asegura con hule, luego se colocan en un embudo sobre la tabla perforada y se coloca un beaker debajo de cada muestra.

d) Se aplica una carga de agua constante hasta lograr un goteo regular mientras se recolecta el agua en los beaker y se mide el tiempo que se dura en recoger cierto volumen vertido.

e) Con los datos de volumen y tiempo se calcula un caudal, el cual es utilizado para la determinación de la conductividad hidráulica mediante la fórmula de Darcy.

La conductividad hidráulica se expresa con la letra K, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta H} \dots \dots \dots (7)$$

donde:

K: Conductividad Hidráulica, (cm/min)

Q: Caudal, (cm<sup>3</sup>/min)

L: Longitud de la columna de suelo, (cm)

A: Área de la sección transversal del flujo, (cm<sup>2</sup>)

$\Delta H$ : Diferencia de carga hidráulica, (cm)

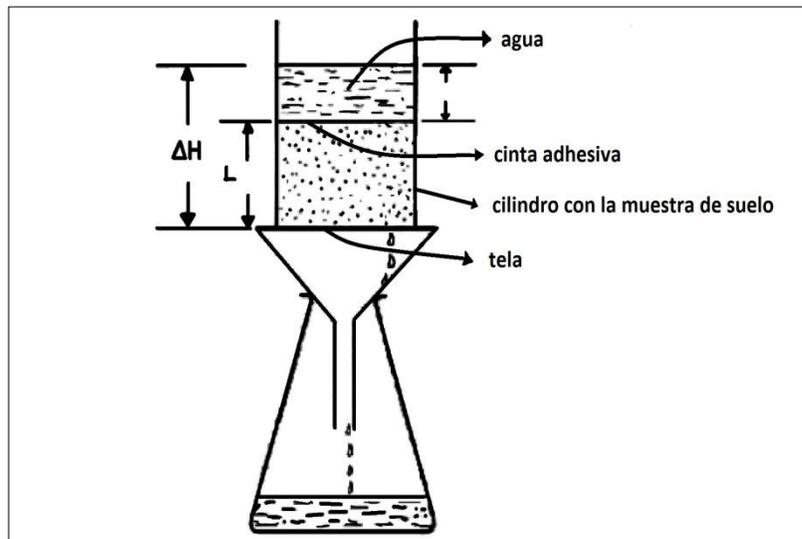


Figura 3. Medida de la Conductividad Hidráulica.

Algunos valores comunes de conductividad hidráulica del suelo en función de la textura se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Valores frecuentes de K según textura.

<b>Textura y estructura</b>	<b>K (m/d)</b>
Arena gruesa con grava	10 - 50
Franco arenoso, arena fina	1 - 5
Franco, franco arcilloso bien estructurado	1 - 3
Franco arenoso muy fino	0,5 - 2
Arcilla con grietas	0,5 - 2
Arena muy fina	0,2 - 0,5
Franco arcilloso, arcilloso mal estructurado	0,02 - 0,2
Arcilla compacta	< 0,002

### 2.2.7 PH del suelo

El pH se define como el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno. En la mayoría de suelos agrícolas fluctúa entre 4,5 y 8,5. El pH afecta la disponibilidad de ciertos nutrientes y provoca la solubilidad de otros elementos que pueden ser tóxicos, (Chavarría, 2010).

Para determinar el pH del suelo se debe seguir el siguiente procedimiento:

- a) Se toman 200 cm<sup>3</sup> de suelo y 200 cm<sup>3</sup> de agua destilada, confeccionando una mezcla con relación 1:1 en base a volumen.

- b) Se mezcla vigorosamente durante 15 minutos.
- c) Se filtra la mezcla para separar la solución del suelo.
- d) Se realiza la medición con el medidor de pH hasta que se estabilice.

## **2.3 Capacidad de uso de los suelos**

### **2.3.1 Uso de los suelos**

El proceso de planificación tendiente al desarrollo de sistemas sostenibles requiere de un adecuado inventario de los recursos suelo y clima, que en forma integral pueden combinarse para establecer un sistema de capacidad de uso de las tierras. Este sistema deberá clasificar las tierras en grupos que reflejan el uso más intensivo y sostenible a que puede someterse una determinada área de terreno, (Núñez, 2001).

Establecer la verdadera capacidad de uso de las tierras hace posible la planificación del desarrollo sostenible de las diferentes actividades productivas, para lo cual es necesario aplicar una metodología adaptada a las condiciones propias de cada territorio en la cual se unifiquen los criterios y se eliminen las diferencias de interpretación.

### **2.3.2 Evaluación de los suelos**

El uso y manejo de suelos se refiere a las decisiones de carácter técnico que se toman respecto a un terreno, para mantener en forma indefinida un adecuado nivel de producción agrícola con rentabilidad.

Estas decisiones son tomadas sabiendo las características físicas y químicas, como también factores externos como el clima, la topografía, y la profundidad efectiva, conociendo estas características se empezaría a aplicar un sistema que nos permita evaluar y definir el uso del suelo.

### **2.3.3 Clasificación de la capacidad de uso del suelo**

La capacidad de uso del suelo se basa en definir el grado de intensidad de uso, con base en la calificación de las limitaciones existentes en el terreno para producir de manera sostenida, (Cubero, 1994).

El sistema reconocido para la clasificación de la capacidad de las tierras es la ofrecida por el Centro Científico Tropical (CCT).

La estructura del sistema de clasificación de capacidad de uso de las tierras está compuesto por tres niveles: clases, subclases y unidades de manejo.

#### **2.3.3.1 Clases de suelos por su capacidad de uso**

La clase por capacidad de uso agrupa las tierras que presentan condiciones similares en limitaciones y en riesgo de deterioro, para uso agrícola, pecuario, forestal, en forma sostenible (USDA-SCS, 1974).

Núñez (2001), detalla las diferentes clases de suelos:

Clase I: se incluyen tierras con pocas limitaciones para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona. Algunas de las limitaciones que pueden presentarse en esta clase son las siguientes: se encuentran sobre superficies planas o casi planas, la erosión sufrida es nula, no presentan problemas de pedregosidad, drenaje bueno, sin riesgo de inundación y se ubican en zonas de vida de condición húmeda, con un periodo seco moderado y sin efectos negativos a causa de la neblina y viento.

Clase II: Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos. Dentro de estas limitaciones se encuentran: relieve ligeramente ondulado con erosión sufrida leve, ligeramente pedregoso, fertilidad

media, salinidad y toxicidad leve, drenaje moderadamente lento o excesivo, riesgo de inundación leve, y condiciones de neblina y viento moderado.

Clase III: Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas que restringen la elección de los cultivos o se incrementan los costos de producción. Dentro de sus principales limitaciones que se pueden mencionar están: poseen relieve moderadamente ondulado, la erosión sufrida es leve, moderadamente pedregosos, fertilidad media, drenaje moderadamente lento o excesivo y condiciones de neblina y viento moderado.

Clase IV: Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Sus posibles limitaciones son: relieve ondulado, erosión sufrida moderada, pedregosos, fertilidad media, salinidad leve y toxicidad moderada, drenaje moderadamente lento o moderadamente excesivo, riesgo de inundación moderado y condiciones de neblina y viento moderado.

Clase V: Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semipermanente, permanente o bosque, por lo cual su uso se restringe a pastoreo o manejo de bosque natural. Sus principales limitaciones son: relieve ondulado, suelos poco profundos, erosión sufrida moderada, fuertemente pedregosos, fertilidad muy baja, drenaje muy lento o excesivo, con periodo seco fuerte o ausente y condiciones de neblina y viento fuerte.

Clase VI: Las tierras ubicadas dentro de estas clases son utilizadas principalmente para la producción forestal, así como para cultivos permanentes. Las limitaciones que se pueden presentar son: relieve fuertemente ondulado, erosión sufrida severa, fuertemente pedregosos, muy baja fertilidad, condición de neblina y viento moderada.

Clase VII: Las tierras de esta clase tienen severas limitaciones por lo cual solo se permite el manejo forestal con cobertura boscosa; dentro de las limitaciones que se pueden presentar son: relieve escarpado, erosión sufrida severa, suelos poco profundos, fuertemente pedregosas, muy baja fertilidad, y condición de neblina y viento fuerte.

Clase VIII: Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal. Las tierras de esta clase tienen utilidad sólo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

### **2.3.3.2 Subclases de tierra por su capacidad de uso**

Las subclases son grupos de tierras dentro de una clase que tienen limitaciones del mismo tipo (USDA-SCS, 1974).

Las subclases de capacidad de uso se detallan a continuación:

- Erosión (e): Es la pérdida actual o potencial del suelo, provocada por la escorrentía superficial y la acción del viento.
- Suelo (s): Se refiere a las limitaciones producto de uno o varios de los siguientes factores: profundidad efectiva, textura, pedregosidad, fertilidad natural, toxicidad y salinidad.
- Drenaje (d): Agrupa las limitaciones causadas por exceso o deficiencia de humedad en el suelo, o por riesgos de inundación.
- Clima (c): Son las limitaciones debidas a las distintas características climáticas que afectan negativamente el crecimiento de las plantas.

### **2.3.3.3 Unidades de manejo**

Constituyen una subdivisión de las subclases de capacidad de uso, que indican el factor o los factores específicos que limitan su utilización en actividades agropecuarias y forestales. Estas tierras son lo suficientemente homogéneas como para requerir sistemas de manejo y conservación similares (Núñez, 2001).

Simbólicamente las unidades de manejo se representan por un número romano que indica la clase de capacidad, una o más letras minúsculas que indican la subclase de capacidad y uno o más números arábigos como subíndices a las subclases que indican el o los factores específicos y que corresponden a la unidad de manejo.

### 2.3.4 Parámetros evaluados de la capacidad de uso de las tierras

#### 2.3.4.1 Parámetros correspondientes a erosión

- Pendiente ( $e_1$ ): La pendiente de un terreno se expresa como el grado de declive, o sea, una relación entre la distancia vertical y horizontal de dos puntos en términos porcentuales. Las categorías de pendiente en función del relieve se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Categorías de pendientes.

Condición	Pendiente (%)
Plano a casi plano	0 - 3
Ligeramente ondulado	3 - 8
Moderadamente ondulado	8 - 15
Ondulado	15 - 30
Frecuentemente ondulado	30 - 50
Escarpado	50 - 75
Fuertemente escarpado	> 75

- Erosión sufrida ( $e_2$ ): Se refiere al daño causado a los suelos por la erosión acelerada.

Las diferentes categorías de erosión sufrida son:

- Nula: Sin síntomas de erosión.

- Ligera o leve: Los suelos presentan pocos canalículos, de pocos centímetros de profundidad. Se considera que se ha perdido menos del 25% del horizonte A original.
- Moderada: Se considera que se ha perdido hasta un 50% del horizonte A original.
- Severa: Presencia de abundantes surcos aún después de arado el terreno, en canalículos y surcos profundos. El suelo ha sido erosionado hasta en un 100% del horizonte A original.
- Muy severa: Los suelos están prácticamente destruidos o son fuertemente truncados, con exposición del horizonte B.

#### **2.3.4.2 Parámetros correspondientes al suelo**

- Profundidad efectiva ( $s_1$ ): Es el grosor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar con ninguna dificultad.
- Textura del suelo ( $s_2$ ): La clase textural será definida por la limitante más fuerte del suelo o subsuelo. Su clasificación se realiza según el triángulo textural.
- Pedregosidad ( $s_3$ ): Se refiere al contenido de piedras y rocas que interfieren en las labores de labranza, crecimiento de raíces y el movimiento de agua.
- Fertilidad ( $s_4$ ): Para efectos de la clasificación, el criterio de fertilidad se debe utilizar en terrenos con pendientes menores de 30 %.
- Toxicidad del cobre ( $s_5$ ): Es la concentración de cobre en el suelo a nivel tóxico.
- Salinidad ( $s_6$ ): Es la concentración total de sales solubles en el suelo.

### 2.3.4.3 Parámetros correspondientes al drenaje

- Drenaje ( $d_1$ ): Se refiere a la rapidez con que el agua se desplaza a través del suelo.
- Riesgo de inundación ( $d_2$ ): Se refiere a la probabilidad y frecuencia de ocurrencia de un desborde de una corriente de agua fuera de su cauce normal, poniendo en peligro las áreas aledañas.

### 2.3.4.4 Parámetros correspondientes al clima

- Zonas de vida ( $c_1$ ): Es un conjunto de ámbitos específicos de los factores climáticos principales, constituido por la biotemperatura, la precipitación y la humedad. En nuestro país se encuentran definidas 12 zonas de vida a lo largo del país, las cuales se pueden apreciar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Zonas de vida para Costa Rica.

Nombre	Siglas
Bosque seco tropical	bs - T
Bosque húmedo tropical	bh - T
Bosque muy húmedo tropical	bmh - T
Bosque húmedo premontano	bh - P
Bosque muy húmedo premontano	bmh - P
Bosque pluvial premontano	bp - P
Bosque húmedo montano bajo	bh - MB
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh - MB
Bosque pluvial montano bajo	bp - MB
Bosque muy húmedo montano	bmh - M
Bosque pluvial montano	bp - M
Páramo pluvial subalpino	bp - SA

En el apartado de Anexo 4 se encuentra la figura A4.1 con el mapa de Costa Rica donde se pueden observar la localización de las diferentes zonas de vida.

- Periodo seco ( $c_2$ ): Se entiende por período seco el número de meses sin lluvia consecutivos. Las categorías de un período seco son las siguientes:

Cuadro 5. Categorías de período seco.

Condición	Duración
Ausente	Menor a 1 mes
Moderado	Entre 1 y 3 meses
Fuerte	Mayor a tres meses

- Neblina ( $c_3$ ): La presencia de neblina deja en las áreas de influencia características fácilmente interpretables, debido a su frecuencia y densidad. Este factor puede encontrarse ausente, moderada o fuertemente en una zona.
- Viento ( $c_4$ ): Este factor puede producir grandes efectos sobre los cultivos, ya que ejerce un efecto mecánico directo sobre las plantas, desecamiento del ambiente y además puede llegar a provocar erosión.

## 2.4 Erosión del suelo

La erosión corresponde al desgaste de la superficie del suelo causada por acción de agentes geológicos como agua, gravedad, viento o hielo, a través de procesos naturales. Los dos principales agentes erosivos son el viento y el agua, siendo esta última el factor que más influye en la erosión del suelo. Según algunos autores la erosión más severa tenderá pues a asociarse con las precipitaciones medias cuando la vegetación es la misma, y con precipitaciones elevadas cuando el bosque natural es talado (FAO, 1978).

### **2.4.1 Erosión hídrica**

La erosión hídrica consta de una dispersión de las partículas del suelo por acción de impacto de las gotas de lluvia, el escurrimiento superficial y posterior transporte de las partículas dispersadas. El transporte de los sedimentos generados propende a formar una superficie sellante, decreciendo la infiltración, incrementando el escurrimiento superficial y por lo tanto la erosión del suelo, (Oyarzún, 1993).

Las corrientes de agua han sido siempre agentes activos de erosión, pero los cambios que ha provocado el hombre han hecho que su violencia sea aún mayor. La remoción de la capa vegetal ha aumentado la proporción de agua de escurrimiento durante o inmediatamente después de la lluvia. Este aumento de caudal ha transformado corrientes que antes discurrieron mansamente por canales poco profundos, en torrentes impetuosos que abren hondos barrancos y atacan las tierras que bordean sus cursos, (Hull, 1974).

Sin embargo, no solo interesa la cantidad de lluvia, sino también el tipo de lluvia. Los intensos chubascos típicos de los trópicos tienen un efecto mucho más catastrófico que la lluvia en los climas templados. En condiciones semiáridas, la mayor erosión por lluvias ocurre a menudo cuando ésta se produce en tormentas violentas, aunque la cantidad de agua sea poca. En otros casos, pendientes fuertes y suelos vulnerables pueden conducir a erosiones muy serias en las latitudes templadas, (Suarez, 1982).

La prevención de la erosión, entendida como la reducción de la tasa de pérdida de suelo hasta la que aproximadamente se producirá en condiciones naturales, se apoya en estrategias seleccionadas para la conservación del suelo y éstas, a su vez, requieren un conocimiento profundo de los procesos erosivos, (Morgan, 1996).

El objetivo de los conservacionistas del suelo es garantizar que la tierra sea utilizada de tal forma que se pueda producir indefinidamente, lo que significa que no existe un deterioro progresivo. Ello se consigue cuando la tasa de pérdida de suelo no es superior a la tasa de

formación de suelo. Naturalmente, la pérdida aceptable de suelo depende de las condiciones del mismo, por ejemplo, si se trata de un suelo profundo con fertilidad similar a lo largo de todo el perfil, una pérdida de 25 milímetros en 30 años es mucho menos seria que si se trata de un suelo de pocos centímetros descansando sobre roca dura, (Hudson, 1982).

## 2.4.2 Erosión por cárcavas

Una cárcava es un zanjón o arroyo con fuertes taludes, sujeto a grandes caudales esporádicos o intermitentes. Además de la pérdida de tierra agrícola, las cárcavas muchas veces transportan grandes cantidades de agua y sedimento cuya disposición, al llegar a tierras planas causan daños severos. Estos sedimentos entierran suelos más productivos y rellenan los cauces de los ríos causando desbordamiento, (Tracy, et.al, 1986).

### 2.4.2.1 Formación de cárcavas

Las cárcavas se forman por la acumulación de las aguas de escorrentía, provocando desmoronamientos y arrastre de grandes cantidades de tierra. La formación de cárcavas se inicia por cambios en el equilibrio natural del cauce. Los cambios pueden ser provocados por procesos naturales, pero en general resultan por la intervención humana.

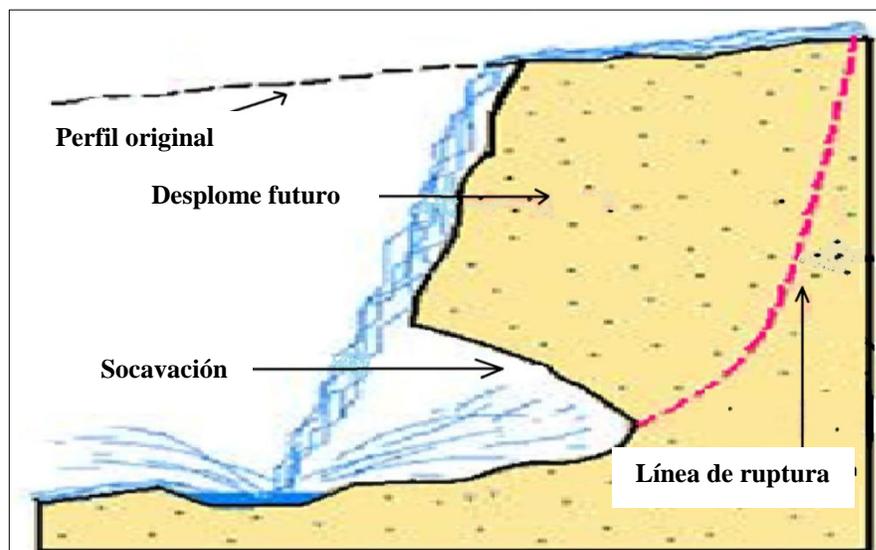


Figura 4. Formación de cárcavas.

### **2.4.2.2 Control de cárcavas**

El objetivo del control de cárcavas es establecer de nuevo el equilibrio en el cauce a través de una vegetación estable. La vegetación efectiva se caracteriza por el establecimiento de una alta densidad de plantas de baja altura, con sistemas radiculares densos y profundos. Para lograr el control de una cárcava es necesario tomar medidas a corto y a largo plazo, porque es muy difícil y a veces imposible alcanzar el establecimiento de la vegetación directamente en una cárcava activa, (MAG, 1990).

Por lo tanto, es necesario en primer lugar modificar las condiciones en la cárcava (medidas a corto plazo) para permitir el establecimiento de una vegetación estable a largo plazo. Por consiguiente, el control efectivo de la cárcava debe estabilizar tanto el gradiente del cauce, como el corte de la cabecera. De acuerdo a Cubero (1996), los pasos en el control o recuperación de una cárcava incluye:

a) Protección del área contribuyente a la cárcava

Se refiere a toda el área que drena hacia la cárcava. Es importante proteger esta zona para reducir la cantidad y velocidad de las aguas que se concentran en la cárcava.

Para proteger el área contribuyente se debe establecer o aumentar la cobertura vegetativa mediante la reforestación y/o siembra de pastos.

A veces, es factible construir una zanja de intercepción arriba de la cárcava y desviar el flujo a otro cauce más adecuado o alrededor de la cárcava, evitando las zonas de erosión activa.

b) Construcción de muros y diques de recuperación

Tienen el propósito de proteger el corte de la cabecera de la cárcava, y al mismo tiempo, reducir la velocidad del flujo y disminuir el gradiente (pendiente) en el cauce. Se construyen los muros o diques en los puntos críticos de la cárcava, como en el corte de la cabecera, donde hay un cambio en la dirección del flujo, o un cambio brusco en el gradiente y en intervalos regulares a lo largo del fondo del cauce.

- Materiales:

Se deben construir los diques de los materiales más disponibles en el sitio. Las figuras 5 y 6 presentan dos tipos de diques sencillos que se pueden construir a base de materiales comúnmente disponibles en las zonas rurales. Generalmente, la piedra es el material más abundante, duradero, fácil de trabajar y económico para la construcción. Sin embargo, se pueden utilizar troncos, postes, tablas o una combinación con tallos leñosos.



Figura 5. Dique construido a base de troncos.



Figura 6. Dique construido a base de piedra.

- Diseño:

El dique de recuperación ya sea de piedra o de madera, está constituido por la cortina, el vertedero y el delantal (Figura 7).

La cortina retiene el agua, reduce la velocidad, aumenta la infiltración y acumula los sedimentos que se depositan.

El vertedero permite la salida en forma controlada de las aguas acumuladas por la cortina.

El delantal, absorbe la mayor parte de la energía del agua que pasa por el vertedero, evitando que la corriente socave el pie de la cárcava.

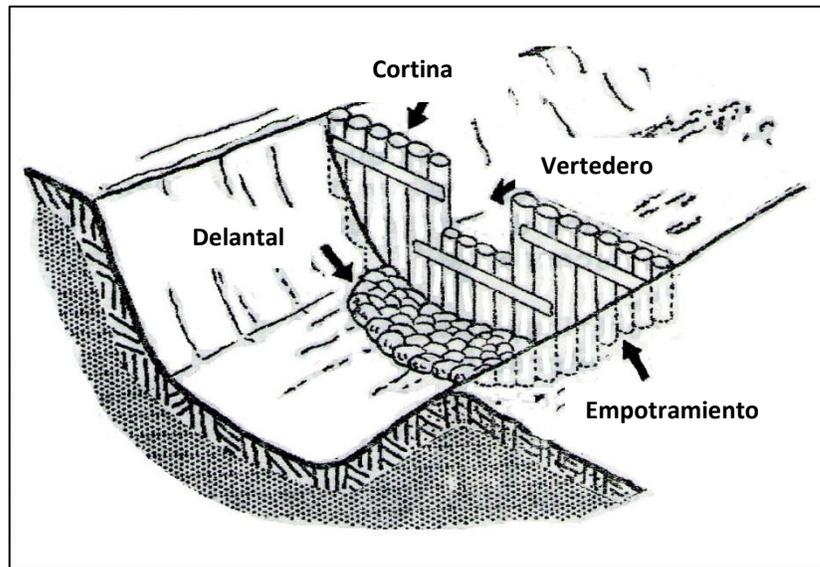


Figura 7. Partes de un dique o muro para control de cárcavas.

- Especificaciones:

Se construye la cortina del muro o dique según las dimensiones de la sección transversal de la cárcava en el sitio seleccionado. Se recomienda construir un número mayor de estructuras pequeñas en lugar de unas pocas estructuras más grandes. Con mayor número de muros pequeños, hay más estabilidad en el gradiente del lecho y mayor reducción en la velocidad de la corriente de agua, (Hull, 1974).

Una buena regla de campo es no pasar de 1,5 metros de altura total en la cortina. Además, el lado aguas abajo de la cortina de los muros de recuperación de piedra, debe tener un declive desde la corona hacia el pie de 10%, es decir 10 centímetros horizontales por cada metro de altura. La base de la cortina debe estar bien empotrada (enterrada), tanto en el fondo del lecho como en los taludes. Se recomiendan que se profundice la base y los taludes unos 30 centímetros por cada metro de altura de la cortina (una tercera parte).

El vertedero o la sección de descarga del dique puede ser construido en varias formas como se ilustra en la figura 8. Por su solidez, facilidad de construcción y poca necesidad de mantenimiento se recomienda el vertedero en forma triangular.

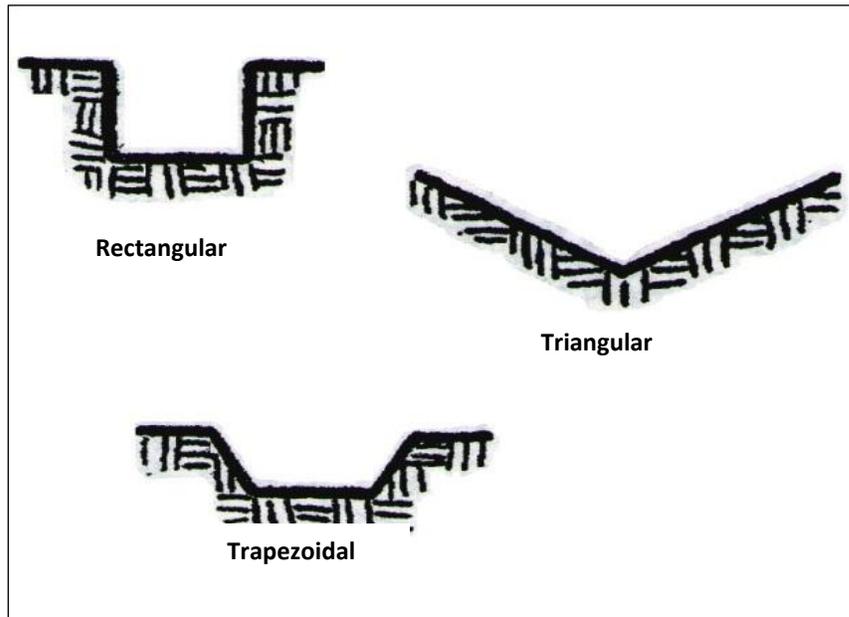


Figura 8. Formas comunes para el diseño del vertedero.

La corona del vertedero debe extenderse desde su centro hacia la intersección de la cortina con el talud. Este diseño provee un vertedero cuya capacidad de descarga aumenta con un incremento en el volumen de flujo, sin peligro de que rebalse el muro o dique. La altura de la corona del vertedero en el centro de la cortina debe ser 60% de la altura total del dique.

El delantal debe estar bien empotrado al pie de la cortina aguas abajo (figura 9). El empotramiento del delantal es bien importante para que resista la fuerza de la caída del agua que descarga por el vertedero. Esta superficie debe extenderse en una faja continua, al pie de la cortina, a lo ancho del fondo del cauce. Se recomienda que el delantal alcance el mismo largo en su dirección aguas abajo, que la altura total del muro o dique.

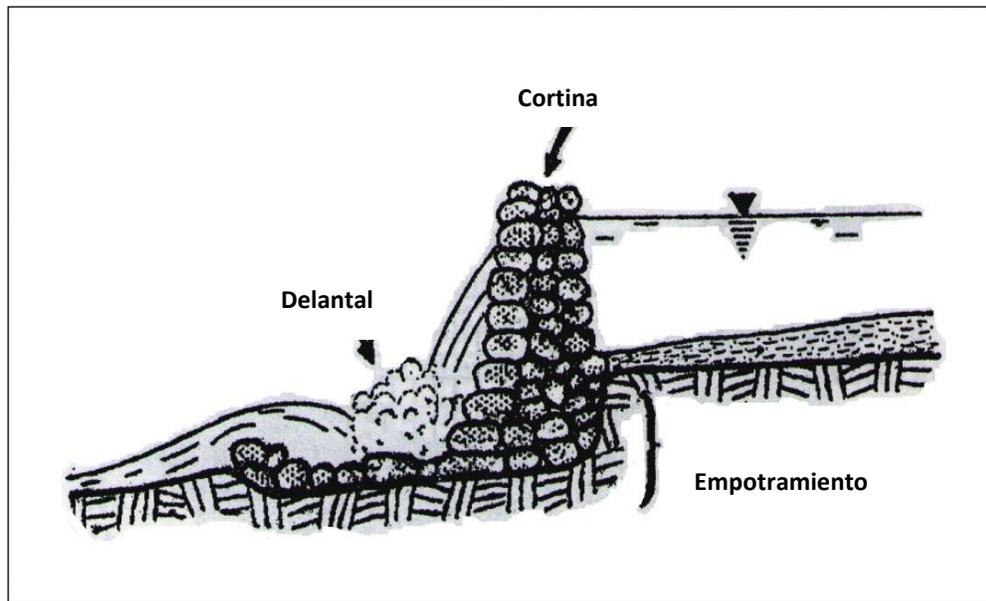


Figura 9. Empotramiento del delantal.

- Distanciamiento:

El distanciamiento de los diques de recuperación es un cálculo complejo basado en las características físicas de la cárcava y el caudal máximo. La distancia entre un dique y otro debe estar calculada para que el nuevo lecho sobre la acumulación de sedimentos forme un cauce con gradiente estable entre los dos.

Según Chavarría (2011), una forma de calcular el espaciamiento entre diques es mediante la ecuación 8:

$$D = \frac{100 * H}{P} * \left( 1 + \frac{Sne}{P} \right) + H' \dots \dots \dots (8)$$

donde:

H: H'

H: altura efectiva del dique o muro, (m)

H': longitud del delantal, (m)

P: pendiente del fondo de la cárcava, (%)

Sne: pendiente no erosiva de la superficie libre de agua, (%)

D: distanciamiento entre diques dentro de la cárcava, (m)

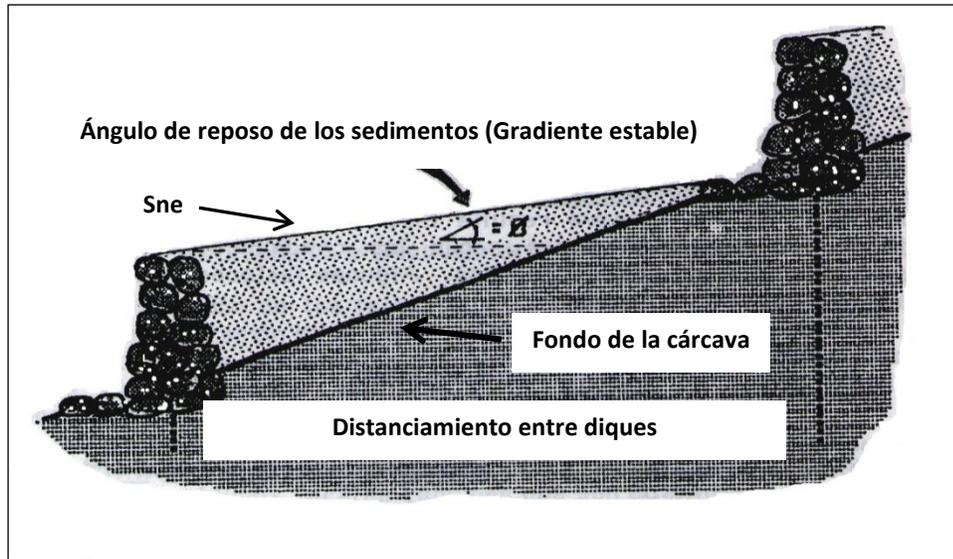


Figura 10. Gradiente estable entre diques.

El ángulo de reposo ( $\phi$ ), es la máxima inclinación estable para una clase de partículas de sedimento. Este ángulo es una función de la forma y tamaño de las partículas, y la velocidad o el volumen de la corriente del agua.

Para la construcción más eficiente de un sistema de estructuras y mayor estabilidad a largo plazo, la distancia entre diques dentro de la cárcava debe ser tal que el depósito de sedimento llegue al delantal del siguiente dique aguas arriba, como se ilustra en la figura 11.

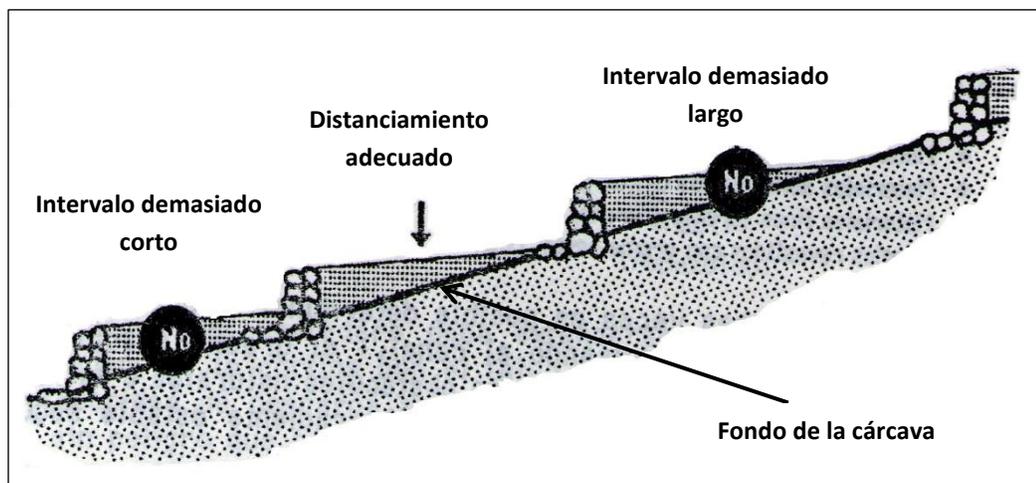


Figura 11. Distanciamiento adecuado entre diques dentro de la cárcava.

Con un distanciamiento demasiado corto, el delantal del próximo dique aguas arriba, queda enterrado por el sedimento y no se aprovecha eficientemente su capacidad de captación de sedimento, ni la reducción apropiada en el gradiente del lecho del cauce. Si se construyen los diques con un distanciamiento demasiado largo, el delantal del próximo queda aislado arriba del límite de deposición y está expuesto a socavación por la profundización del canal en el tramo aguas abajo.

Además, como guía se presenta en el cuadro 6 el distanciamiento entre diques sucesivos según estos criterios. Como se muestra en el cuadro, en tierras muy inclinadas se requieren espaciamientos tan cortos, que la construcción de las estructuras resulta poco práctica. Entonces, para que la construcción de un sistema de estructuras de control y recuperación de una cárcava resulte factible, generalmente es necesario modificar las recomendaciones según las condiciones actuales que se encuentra en cada situación específica. Algunos factores a tomar en cuenta en la determinación incluyen:

- Gradiente, forma y tamaño de la cárcava
- Cantidad y clase de material disponible en el sitio
- Capacidad y disponibilidad de mano de obra

Cuadro 6. Distanciamientos para diques de recuperación de cárcavas.

Altura total del Dique (m)	Altura del Vertedero (m)	Pendiente del lecho de la cárcava (%)						
		5	10	15	20	30	40	50
0,50	0,30	6,0	3,0	2,0	1,5	1,0	-	-
0,75	0,45	9,0	4,5	3,0	2,2	1,6	1,2	1,0
1,00	0,60	12,0	6,0	4,0	3,1	2,1	1,6	1,3
1,25	0,75	15,0	7,5	5,0	3,8	2,6	2,0	1,6
1,50	0,90	18,0	9,0	6,1	4,6	3,1	2,4	2,0

c) Establecimiento de la vegetación permanente

Una vez estabilizado el gradiente del lecho del zanjón, se puede proceder con la rehabilitación directa de la cárcava; los pasos para lograr esto son:

- La reducción del ángulo de los taludes
- La siembra de vegetación protectora

Debido a la profundización del canal, la cárcava generalmente desarrolla taludes fuertemente inclinados o escarpados. Antes de poder establecer una vegetación permanente, resulta necesario reducir la inclinación de los taludes, lo cual se logra reformando los taludes en una configuración más uniforme y estable, con pendientes más largas y menos inclinadas, (Suárez, 1982).

Con la modificación de los factores erosivos de la cárcava, es posible restablecer la vegetación en el cauce. Se debe tener en cuenta que una vegetación estable se caracteriza por una plantación de alta densidad de plantas de baja a mediana estatura, con sistemas de raíces densos y profundos. Los pastos o zacates llenan bien estos requisitos.

## **2.5 Escorrentía superficial**

La escorrentía superficial es el exceso de agua sobre la superficie que se debe remover en un tiempo de drenaje determinado para cada cultivo. Para su determinación existen varios procedimientos que se utilizan para el cálculo de la escorrentía. (Custodio, et. al, 1975).

Dentro de los métodos que se pueden usar están: método directo, método de balance hídrico y método del número de curva propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Esta escorrentía superficial causada por las lluvias típicas de la zona, en conjunto con las pendientes naturales del terreno, causan erosión y el deterioro de los suelos a

largo plazo. Con un adecuado trazo de los canales, la erosión se vería disminuida en forma significativa.

Torres (1981), menciona que la velocidad de la corriente transportada por el canal terciario no deberá causar daños por erosión ni por aterramiento, además en el diseño, dimensionamiento e implantación de las obras de drenaje se deberá evitar el depósito de sedimentos en su interior y reducir todo lo posible la perturbación de las condiciones de desagüe del cauce a que correspondan. La selección de un caudal de referencia y periodo de retorno se encuentra relacionada con la frecuencia de su aparición, por lo que se puede definir mediante su periodo de retorno: cuanto mayor sea este, mayor será el caudal.

El caudal de diseño será igual a la máxima escorrentía que se presente en un terreno. Para calcular esta escorrentía máxima se utilizará el método racional, que es un método empírico del cual se derivan los demás métodos.

### **2.5.1 Método Racional**

La escorrentía máxima o descarga de diseño, es el máximo caudal que se espera pueda ocurrir con un determinado período de retorno o frecuencia en años, durante el período de vida útil del proyecto u obra.

Las obras de conservación de suelos como terrazas, acequias de ladera, canales de desviación, alcantarillas, diques de retención para el control de cárcavas, etc., se deben diseñar de tal manera que sean capaces de resistir este evento o caudal máximo, el mismo que constituye un criterio básico para el dimensionamiento de las estructuras, (FAO, 1978).

La magnitud de la descarga de diseño se calcula de acuerdo al período de retorno (años) escogido; por lo tanto, la selección de dicho parámetro está en relación directa con la naturaleza e importancia de la obra a construir.

Si se trata de sistemas de tratamiento de tierras de carácter temporal que no tengan mucho peligro de causar daños como terrazas, acequias de ladera, alcantarillas, etc., es suficiente una frecuencia de 10 años; si son obras de cierta magnitud y costo como las alcantarillas en carreteras, rápidas, caídas, muros de contención, etc., el tiempo de retorno puede escogerse 25 años; finalmente si se tratara de aliviaderos de reservorios medianos, puentes, carreteras, etc., pueden escogerse 50 o 100 años, según la inversión comprometida y el riesgo de daños personales que se puedan producir en caso de falla.

El factor tiempo o frecuencia de ocurrencia se incluye dentro del factor precipitación, seleccionando un periodo de retorno determinado. La mayoría de procedimientos se basan en análisis estadísticos para determinados lugares y por lo tanto su aplicación no es universal.

En el método racional, se supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración. Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que el tiempo de concentración, contribuye asimismo toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor su duración, y por tanto, también es menor el caudal. (Villón M, 2007)

Si la duración de la lluvia es menor que el tiempo de concentración, la intensidad de la lluvia es mayor, pero en el momento que acaba la lluvia, el agua caída en los puntos más alejados aún no ha llegado a la salida, con lo cual sólo contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía, por lo que el caudal será menor.

Para el diseño de los canales de evacuación y conducción de aguas, se debe conocer previamente el caudal máximo, el cual mediante el método racional se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots \dots \dots (9)$$

donde:

Q: caudal máximo o descarga, en m<sup>3</sup>/s

C: coeficiente de escorrentía que depende del relieve, textura, cobertura vegetal, etc.

I: intensidad máxima de la lluvia producida en un tiempo determinado e igual al tiempo de concentración de la cuenca, se expresa en mm/h

A: área tributaria, de recepción o drenaje, en has

La fórmula del método racional proporciona el pico máximo de descarga para un determinado período de frecuencia, éste dato es suficiente para el diseño de estructuras de evacuación del agua superficial.

Los parámetros a utilizar en la ecuación 8, se detallan a continuación:

a) Intensidad máxima:

La intensidad máxima de precipitación se calcula mediante la fórmula de Vahrson según la zona de estudio, para una duración igual al tiempo de concentración y un tiempo de retorno ya definido. El cuadro 7 muestra las ecuaciones para calcular las intensidades máximas para las ciudades principales de Costa Rica:

Cuadro 7. Intensidades máximas para algunas ciudades de Costa Rica.

Alajuela	$I_{max} = 209.844 - 38.7305 * \ln(D) + [42.614 - 24.6041 * \ln(\ln(D))] * \ln(T)$
Cartago	$I_{max} = 156.892 - 28.4612 * \ln(D) + [42.2027 - 8.0731 * \ln(D)] * \ln(T)$
Liberia	$I_{max} = 200.556 - 35.9234 * \ln(D) + [44.1334 - 7.49972 * \ln(D)] * \ln(T)$
Limón	$I_{max} = 155.052 - 25.8865 * \ln(D) + [21.7857 - 3.13747 * \ln(D)] * \ln(T)$
Puntarenas	$I_{max} = 175.645 - 29.5811 * \ln(D) + [43.0524 - 5.32126 * \ln(D)] * \ln(T)$
San José	$I_{max} = 166.097 - 29.6018 * \ln(D) + [20.3018 - 2.79158 * \ln(D)] * \ln(T)$

donde:

$I_{max}$ : intensidad máxima de la lluvia, mm/h

D: igual al tiempo de concentración, en minutos

T: período de retorno, en años

b) Tiempo de concentración:

Se denomina tiempo de concentración al tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de ésta (estación de aforo). Este tiempo es función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca, (Villón M, 2007)

El tiempo de concentración se puede calcular mediante la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \dots \dots \dots (10)$$

donde:

$t_c$ : es el tiempo de concentración, expresado en minutos

L: máxima longitud del cauce de drenaje, en metros

H: diferencia de cotas entre los puntos extremos del cauce, se expresa en metros

c) Coeficiente de escorrentía:

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se utiliza el cuadro 8, el cual está en función de la cobertura vegetal, pendiente y tipo de suelo. El tipo de suelo está en función de la permeabilidad del mismo, por lo que con la obtención de la conductividad hidráulica se tendrá un dato preciso para dicho parámetro.

Una vez obtenido el caudal que eventualmente evacuará el canal, se deben dar las dimensiones adecuadas al mismo, con el fin de que sea capaz de evacuar tal cantidad de agua. Para su respectiva construcción, se deben dar los valores de pendiente, ancho de solera, talud y profundidad total del canal.

Cuadro 8. Valores para el coeficiente de escorrentía (C).

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		> 50	20 - 50	5 - 20	1 - 5	0 - 1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.35	0.20	0.15	0.10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

## 2.6 Conservación y manejo adecuado de los suelos

Existen prácticas que tienen como fin el disminuir y prevenir el deterioro que sufre el suelo debido a la erosión, así como para mantener la productividad del mismo. Dichas prácticas abarcan todas las estrategias simples o sofisticadas diseñadas por el hombre, y se dividen en técnicas agronómicas y obras mecánicas.

### **2.6.1 Técnicas agronómicas de conservación de suelos**

Tienen como finalidad reducir el impacto de los agentes que degradan el suelo (agua y viento) y fortalecer sus propiedades para hacerlo más resistente a los diferentes procesos de erosión. Núñez (2001), señala algunas de las más importantes:

❖ **Siembra en contorno o curvas de nivel:**

Consiste en labrar el terreno, hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, de tal manera que el agua encuentre un obstáculo y por tanto se reduzca la escorrentía, disminuyendo con ello la erosión y evitando la eventual formación de surcos y cárcavas.

❖ **Barreras vivas:**

Son hileras de plantas perennes o de larga vida las cuales se siembran una cerca de la otra para formar una barrera continua. Las hileras son sembradas en forma transversal a la pendiente del terreno o a la dirección del viento, con la finalidad de disminuir el poder erosivo del escurrimiento.

❖ **Cortinas rompevientos:**

Consiste en sembrar hileras de árboles y arbustos de diferentes tamaños y especies, que permiten proteger al cultivo de la erosión eólica. Cabe mencionar que las cortinas rompevientos aumentan la temperatura durante el día, y la disminuyen por la noche.

## 2.6.2 Obras mecánicas de conservación de suelos

Son obras que se llevan a cabo con la finalidad proteger las tierras de erosión hídrica, además se complementan con las obras agronómicas en zonas donde existen precipitaciones de altas intensidades, largas duraciones y pendientes pronunciadas.

### 2.6.2.1 Acequias de ladera

Son canales de pequeñas dimensiones que se utilizan en zonas con fuertes precipitaciones, y pendientes entre el 10 y 50%. La acequia de ladera se construye también donde no es factible construir terrazas de un ancho adecuado para cultivarlas.



Figura 12. Acequias de ladera en cultivo de piña.

Faustino (1993), indica que las acequias de ladera están constituidas por una plataforma angosta y una inclinación de intercepción hacia el interior, con pendiente longitudinal y

transversal. Son construidas siguiendo las curvas de nivel, dándole una cierta pendiente para así asegurar un flujo uniforme y velocidades no erosivas.

Dicha obra tiene como fin desviar las aguas de escorrentía dentro de la finca, más sin embargo, no controla por completo la erosión, sino que se debe combinar con otras prácticas.

Generalmente los caudales evacuados por las acequias de ladera son pequeños, por lo que se han establecido anchos de base de 30 cm, taludes 1:1, y profundidad y pendiente variable, dependiendo del caudal.

Cada acequia de ladera deberá diseñarse para cada caso específico con velocidades permisibles que no causen la erosión del lecho y sus riberas. Deben desaguar a lugares bien protegidos contra la erosión, por eso su construcción debe comenzar a partir de la desembocadura.

Para el tratamiento de terrenos muy ondulados, debe empezarse a diseñar de arriba hacia abajo, a fin de evitar concentraciones excesivas de agua en canales previstos para caudales menores.

Si se desea desviar aguas de una cárcava, las acequias deben ubicarse a una distancia prudencial de la cabecera de la misma, buscando terreno firme, generalmente a más de tres veces la profundidad de la cárcava

#### ◆ **Diseño y dimensionamiento de las acequias de ladera**

Conocido el caudal que llevará el canal, se debe dar el dimensionamiento adecuado, con el fin de que sea capaz de evacuar toda el agua de escorrentía.

Al diseñar un canal o una acequia de ladera, se deben de tomar en cuenta factores como: coeficiente de rugosidad "n" de Manning, velocidad máxima no erosiva y mínima que no cause sedimentación, tirante de agua, sección del canal, facilidades de mecanización.

Las secciones de los canales que se utilizan para evacuar aguas pueden ser variadas, siendo las más frecuentes las secciones trapezoidal y triangular, debido a que al estar construidos en tierra estas secciones brindan una buena estabilidad.

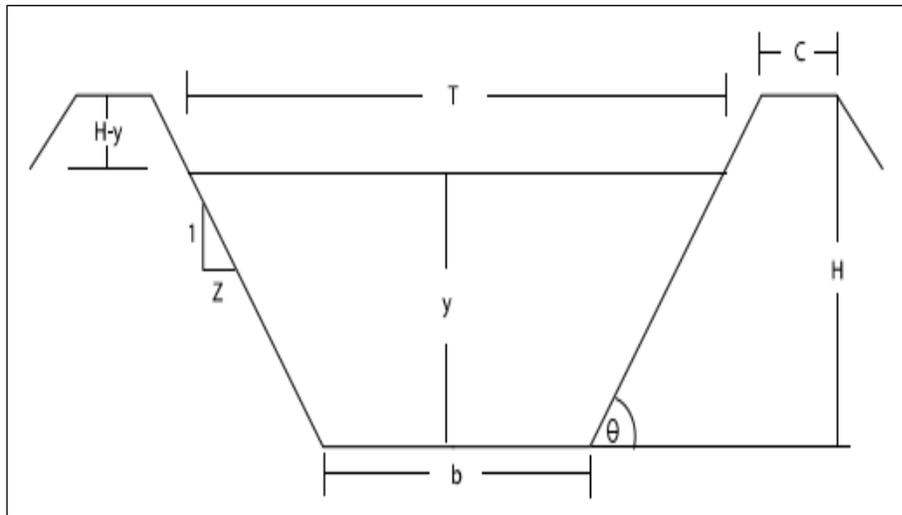


Figura 13. Parámetros de un canal de sección trapezoidal. AutoCAD 2007.

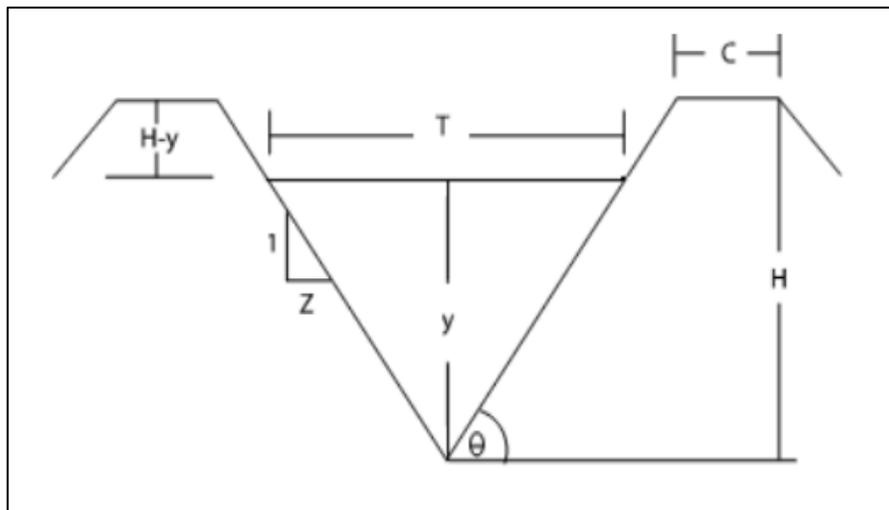


Figura 14. Parámetros de un canal de sección triangular. AutoCAD 2007.

Las figuras 13 y 14 muestran las secciones típicas que tiene un canal de sección trapezoidal y triangular, donde los elementos geométricos son:

$b$  = es la base de fondo o ancho de solera.

$y$  = es el tirante de agua o máxima profundidad de agua en el canal.

$T$  = es el espejo de agua o ancho de la superficie libre de agua.

$C$  = es el ancho de corona.

$H$  = es la profundidad total del canal.

$H - y = B.L$  = es el borde libre del canal.

$\Theta$  = es el ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal.

$Z$  = es el talud, proyección horizontal cuando la vertical es 1.

Si se aplican relaciones trigonométricas se obtiene que,  $Z = \text{ctg } \Theta$ , (ctg = cotangente).

Los parámetros hidráulicos del diseño se calculan teniendo en cuenta que:

Al llevar a cabo el diseño de las acequias se pretende establecer los valores de los diferentes parámetros involucrados, es decir, determinar las medidas de la base de fondo del canal “ $b$ ”, tirante de agua “ $y$ ”, inclinación del talud “ $Z$ ”, todo esto para lograr que el canal o acequia sea capaz de evacuar un caudal “ $Q$ ”, para una pendiente “ $S$ ” y un determinado coeficiente de rugosidad “ $n$ ”.

El caudal a evacuar por la acequia, se puede determinar mediante el método Racional, mientras que los periodos de retorno que se utilizan para el cálculo de la intensidad máxima son de entre 5 y 10 años.

Una vez determinado el caudal a evacuar, se establecen los valores de diseño de acuerdo a las condiciones de suelo (textura, estructura, permeabilidad o conductividad hidráulica) mediante la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \times \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (11)$$

donde:

Q: caudal a evacuar, (m<sup>3</sup>/s)

A: área hidráulica, (m<sup>2</sup>)

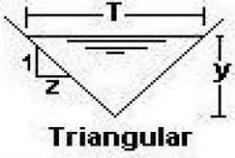
P: perímetro mojado, (m)

S: pendiente del fondo del canal (decimal)

n: coeficiente de rugosidad (adimensional)

Para el uso de la ecuación 11 se deben sustituir los valores de A y P por las relaciones mostradas en el cuadro 9, conociendo de antemano los valores recomendados para el ancho de solera, talud, pendiente y coeficiente de Manning. Dichos valores se obtienen haciendo uso de los cuadros mostrados en el apartado de anexos (recomendaciones para el diseño de canales).

Cuadro 9. Relaciones geométricas para canales.

Sección	Área hidráulica A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Espejo de agua T (m)
 <p>Trapezoidal</p>	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$b + 2zy$
 <p>Triangular</p>	$z * y^2$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$2 * z * y$

Cabe mencionar que al sustituir las relaciones geométricas del cuadro 9 en la ecuación 11, se tendrá como única incógnita el tirante “y”, dato con el cual se podrá determinar la profundidad total del canal y con ello el dimensionamiento total de las acequias.

Una vez finalizado el diseño de las secciones transversales de las acequias, se debe establecer una velocidad de agua de escorrentía no erosiva, de tal manera que el flujo no dañe las paredes o el fondo del canal (acequia); para ello se hace uso de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \dots \dots \dots (12)$$

donde:

V: velocidad del flujo del agua dentro del canal (m/s)

R: radio hidráulico, A/P, (m)

S: pendiente del fondo del canal (decimal)

n: coeficiente de rugosidad (adimensional)

La velocidad de escorrentía obtenida mediante la ecuación 12 debe ser comparada con la máxima permisible no erosiva, la cual puede ser estimada mediante el uso del cuadro mostrado en el apartado de anexos (velocidades máximas recomendadas para canales). En caso de que la velocidad de diseño sea superior a la máxima permitida, se debe replantear el diseño.

Otro dato de importancia en el diseño de acequias de ladera es el distanciamiento entre cada una de ellas, ya que este parámetro presenta variaciones de acuerdo a las diferentes condiciones de suelo, precipitación y pendiente. El espaciamiento entre acequias de ladera se realiza haciendo uso de las ecuaciones propuestas por Hudson, y las cuales se explican a continuación:

Intervalo vertical entre una acequia y la otra:

$$IV = a * P + b \dots\dots\dots (13)$$

Intervalo horizontal entre acequias:

$$IH = \left(\frac{IV}{P}\right) * 100 \dots\dots\dots (14)$$

Distancia inclinada entre las líneas centrales de las acequias:

$$D = \sqrt{IV^2 + IH^2} \dots\dots\dots (15)$$

donde:

a: factor de lluvia (adimensional)

P: pendiente del terreno (%)

b: factor de suelo y cobertura (adimensional)

IV: intervalo vertical (m)

IH: intervalo horizontal (m)

D: distancia entre acequias (m)

Los valores para los factores de lluvia y cobertura “a” y “b”, se obtienen de los dos cuadros mostrados a continuación:

Cuadro 10. Determinación de "a" según precipitación.

<b>Precipitación (mm/año)</b>	<b>Factor a</b>
< 800	0,24
800 – 1200	0,20
1200 – 1600	0,16
1600 – 2000	0,12
2000 – 2400	0,08
> 2400	0,04

Cuadro 11. Factor b, según condición hidrológica.

<b>Condición Hidrológica del suelo</b>	<b>Factor b</b>
A - Bajo potencial de escorrentía	1,2
B - Moderado potencial de escorrentía	0,9
C - Moderadamente alto	0,6
D - Alto potencial	0,3

Los suelos se clasifican en uno de los cuatro grupos hidrológicos siguientes (Tragsa, et.al, 1998):

- Grupo A: Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.
- Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

- Grupo C: Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, por presentar un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque, en conjunto, su textura es franco-arcillosa o arcillosa.
- Grupo D: Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos, profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

Para la clasificación de los grupos hidrológicos de suelos se hace uso del siguiente cuadro propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos:

Cuadro 12. Grupos hidrológicos de suelos.

Clases texturales			
A	Arenosa	B	Franco - limosa
	Arenosa – franca		Franca
	Franco – arenosa		Limosa
C	Franco – arcillo - arenosa	D	Arcillo - arenosa
	Franco – arcillo - limosa		Arcillo - limosa
	Franco – arcillosa		Arcillosa

### 2.6.3 Beneficios de la conservación de suelos

Suárez (1982), menciona que en todo tipo de clima, suelo o explotación que se realice se hace necesario llevar a cabo obras tendientes a conservar el suelo o prácticas que mejoren su fertilidad. Los principales beneficios que se pueden obtener son:

- Mantener un equilibrio entre la formación del suelo y el desgaste que se produce en este.

- b) Mantener la fertilidad natural del suelo y por consiguiente asegurar una producción sostenida a través del tiempo. Si se utilizan los métodos de conservación de suelos adecuados, las tierras se pueden utilizar de manera intensiva, sin que presenten síntomas de degradación.
- c) Se hace un control de avenidas o caudales máximos, con lo cual se reducen los riesgos de pérdidas de vidas y daños a obras existentes.
- d) Incorporar tierras que han sido desechadas, adaptando nuevas técnicas de laboreo.

### **III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Consideraciones generales**

El proyecto a desarrollar está ubicado en finca Buenos Aires, en el cantón de Buenos Aires de Puntarenas, y pertenece a Corporación de Desarrollo Agrícola Del Monte, División Pindeco Pacífico.

El área seleccionada para el desarrollo del mismo, comprende el lote denominado 137, el cual tiene un área de aproximadamente 69 hectáreas; geográficamente está ubicado entre las latitudes 343 000 – 340 000 y longitudes 536 000 – 538 000 en Lambert Costa Rica Sur, de acuerdo con las proyecciones de las hojas 1: 50 000 General 3543 III y Buenos Aires 3543 IV, del Instituto Geográfico Nacional.

#### **3.1.1 Descripción general de la finca**

##### **3.1.1.1 Ubicación cartográfica**

La finca Buenos Aires se ubica geográficamente entre las latitudes 351 000 – 339 000 y longitudes 532 000 – 540 000, en Lambert Costa Rica Sur, de acuerdo con las proyecciones de las hojas 1: 50 000 General 3543 III y Buenos Aires 3543 IV, del Instituto Geográfico Nacional.

##### **3.1.1.2 Topografía, entorno y uso actual**

El lote en estudio está cultivado con piña, a excepción de las calles, drenajes y zonas de protección ambiental. El área total del lote es de 69.5 hectáreas, de las cuales 8.5 son destinadas para la construcción de calles y drenajes. Además posee pendientes pronunciadas, y es en general un terreno irregular, con variaciones considerables en su topografía en tramos muy cortos del mismo lo que provoca que la escorrentía vaya en diferentes direcciones.

Existe una red de drenaje, la cual consta de varios canales o acequias de ladera que transportan los excesos de agua provenientes de las lluvias hacia las zonas más bajas o de descarga. Las acequias existentes tienen un distanciamiento promedio de 30 m entre cada una de ellas.

### **3.2 Muestreo de suelos**

Para la obtención de las muestras para las respectivas pruebas de laboratorio, se realizaron 6 calicatas de aproximadamente 1,5 metros de profundidad. Se colocaron cilindros sobre los horizontes que se requerían muestrear y se colocó encima de cada uno de ellos una tabla de madera de tal manera que al golpear con un mazo o martillo los cilindros se introdujeran en el perfil del suelo y se pudieran retirar las muestras indisturbadas.

Además de las muestras en los cilindros, se extrajeron muestras individuales de aproximadamente medio kilogramo de cada horizonte, esto con la finalidad de tener bastante cantidad representativa de suelo para las pruebas de textura, estructura, y determinación de pH.

### **3.3 Determinación de la textura del suelo**

Seguido el procedimiento ampliamente explicado en el apartado 2.2.1, se obtuvieron los porcentajes de material en suspensión, arenas, limos y arcillas mediante las ecuaciones 1, 2, 3 y 4. Una vez obtenidos los porcentajes se hizo uso del triángulo textural (figura 2) para determinar la textura del suelo muestreado.

### **3.4 Determinación de la estructura del suelo**

Para la determinación de la estructura del suelo muestreado se siguió cuidadosamente el procedimiento descrito en el apartado 2.2.2.

### **3.5 Determinación de la densidad aparente del suelo**

Se secaron las muestras en cilindros durante 24 horas a 105°C y posteriormente se pesaron en una balanza digital además de medir las dimensiones del cilindro, obteniendo con esto los parámetros necesarios para aplicar la ecuación 5 explicada en el apartado 2.2.3.

### **3.6 Determinación del porcentaje de porosidad del suelo**

Una vez determinada la densidad aparente del suelo, se supuso una densidad real de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, y posteriormente se utilizó la ecuación 6 del apartado 2.2.5 para determinar el porcentaje de porosidad del suelo muestreado.

### **3.7 Determinación de la Conductividad Hidráulica**

Una vez que las muestras de suelo se encontraban totalmente saturadas se siguió el procedimiento ampliamente explicado en el apartado 2.2.6 haciendo uso de la ecuación 7 y se determinó la conductividad hidráulica del suelo. Este parámetro es importante para el cálculo del espaciamiento entre las acequias de ladera.

### **3.8 Determinación del pH del suelo**

Para la determinación del pH del suelo, se siguieron los pasos explicados en el apartado 2.2.7.

### **3.9 Determinación de la capacidad de uso del suelo**

#### **3.9.1 Estudios topográficos**

Se realizó un levantamiento topográfico mediante el uso de un GPS Trimble R3, de tal manera que se obtuvo la conformación o relieve del terreno en un plano de curvas de nivel a cada metro.

### **3.9.2 Clasificación del terreno por su capacidad de uso**

Se realizaron evaluaciones mediante visitas de campo al lote, además se contó con el apoyo del Departamento de Investigación de la empresa Pindeco para la obtención de un análisis químico del suelo en estudio, con el fin de conocer parámetros como fertilidad, toxicidad y salinidad, (Cuadros A4.2 y A4.3, apartado de ANEXO 4)

Para la evaluación de los parámetros de la capacidad de uso de los suelos, se utilizó el cuadro A4.1 mostrado en el apartado de ANEXO 4. (Parámetros para la determinación de la capacidad de uso de los suelos).

### **3.10 Control de erosión en cárcavas**

Se identificaron las cárcavas presentes en el terreno y se clasificaron según pendiente para posteriormente llevar a cabo las medidas de control de erosión en cárcavas descrito en el apartado 2.4.2.2.

Para la determinación del espaciamiento entre los diques de control dentro de las cárcavas se hizo uso de la ecuación 8 y del cuadro 6 del mismo apartado.

Debido a que la piedra es un material abundante en la zona (aunque no en el terreno en estudio), se decidió hacer uso de dicho material para la construcción de los diques o muros de recuperación en cárcavas.

### **3.11 Diseño de las obras de conservación de suelos**

De acuerdo a las condiciones actuales del lote en estudio, se consideró conveniente emplear acequias de ladera, ya que debido a las actividades o labores que desarrolla la empresa, éstas vendrían a ser la forma más adecuada de contrarrestar los problemas de escorrentía superficial.

### **3.11.1 Determinación del caudal de diseño**

El caudal de diseño o caudal máximo se determinó aplicando el Método Racional mediante la ecuación 9 del apartado 2.5.1

#### **3.11.1.1 Determinación de la intensidad máxima**

Para el cálculo de la intensidad máxima, se hizo uso de las ecuaciones propuestas por Vahrson. Dichas ecuaciones se presentan en el cuadro 7 del apartado 2.5.1, y para este caso en particular debido a la localización del proyecto se utilizó la ecuación propuesta para la provincia de Puntarenas, para un periodo de retorno de 10 años

#### **3.11.1.2 Determinación del tiempo de concentración**

El tiempo de concentración se obtuvo mediante el uso de la fórmula propuesta por Kirpich, es decir, ecuación 10 la cual se explica ampliamente en el apartado 2.5.1 del Método Racional.

#### **3.11.1.3 Determinación de las áreas de influencia**

El área de influencia para las acequias de ladera, se obtuvo del plano de curvas de nivel equidistantes a cada metro; dicho plano se trabajó con el software AutoCAD 2007.

#### **3.11.1.4 Determinación del coeficiente de escorrentía**

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se hizo uso del cuadro 8 perteneciente al apartado 2.5.1. Cabe recalcar que aunque las condiciones del terreno son similares, la variación del coeficiente estuvo en función de las diferentes pendientes.

Para la utilización del cuadro 8 se hizo uso de la conductividad hidráulica del suelo para definir la permeabilidad del mismo; es decir, en la columna de permeabilidad se entró con el dato de K.

### **3.11.2 Determinación del espaciamiento entre acequias de ladera**

El espaciamiento entre las diferentes acequias de ladera se determinó haciendo uso de las ecuaciones 13, 14 y 15 (apartado 2.6.2.1). Para la determinación de los parámetros a utilizar en dichas ecuaciones se utilizó el plano de curvas de nivel para medir distancias y diferencia de alturas.

Además, para la utilización del cuadro 10 se tomaron en cuenta los datos recolectados por la estación meteorológica La Piñera #7-133 de Buenos Aires, teniéndose una precipitación media anual de 2 996.28 mm.

### **3.11.3 Dimensionamiento de las acequias de ladera**

Debido a que en la empresa Pindeco los canales son construidos con niveladora, las secciones transversales adaptadas fueron de forma triangular con taludes 1:1; ( $Z=1$ ).

El coeficiente de rugosidad se obtuvo del cuadro A3.5 mostrado en el apartado de ANEXO 3 (valores de  $n$  según condición del terreno).

Las pendientes se obtuvieron de acuerdo a la textura del suelo, ya que con anterioridad se determinó dicho parámetro (cuadro A3.2 del apartado ANEXO 3: pendientes recomendadas para distintos tipos de suelo).

Los demás parámetros hidráulicos involucrados en el diseño de las acequias se obtuvieron acorde a lo explicado ampliamente en el apartado 2.6.2.1.

Cabe recalcar que al final del diseño verificó que la velocidad en los canales no fuera mayor a la velocidad máxima no erosiva, mostrada en el cuadro A3.1 del apartado ANEXO 3 (velocidades máximas recomendadas para canales).

## **IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### 4.1 Consideraciones generales

El terreno presenta una topografía irregular, la cual se puede apreciar mediante la figura 15 del plano a curvas de nivel para dicho terreno (Plano A2.1, apartado de ANEXO 2). Además, para el muestreo de suelos se realizaron calicatas a una profundidad de 1.5 metros y se identificaron 2 horizontes en el perfil del suelo, de los cuales se tomaron muestras disturbadas e indisturbadas que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del I.T.C.R.

#### 4.2 Propiedades físicas del suelo en estudio

Una vez realizadas las respectivas pruebas de laboratorio, se obtuvieron los resultados mostrados en los cuadros 13 y 14:

Cuadro 13. Resultados de la textura y estructura de los horizontes muestreados.

Horizonte	Profundidad (cm)	% Arenas Totales	% Arcillas Totales	% Limos Totales	Textura	Estructura
Ap	0 - 30	8,68	72,45	18,88	Arcilloso	Bloques subangulares muy finos grado 2
Btd	> 30	20,30	59,575	20,13	Arcilloso	Bloques subangulares muy finos grado 3

Tal y como se puede apreciar en el cuadro 13, existe un alto contenido de arcilla en ambos horizontes, mientras que los contenidos de limo y arenas son bajos.

La estructura es similar para los dos horizontes muestreados, teniéndose como diferencia el grado de consistencia.

Cuadro 14. Resultados del análisis del suelo en estudio.

<b>Horizonte</b>	<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>% Porosidad</b>	<b>Conductividad Hidráulica (m/d)</b>	<b>pH</b>
Ap	1,13	57,36	1,2413	4,97
Btd	1,25	52,83	0,1100	4,04

Del anterior cuadro se puede apreciar claramente como el horizonte inferior (Btd) presenta una mayor densidad aparente y por consiguiente una menor porosidad. Lo anterior puede deberse a los procesos de mecanización que ha sufrido dicho horizonte, lo cual ha provocado un alto grado de compactación y por ello una disminución del porcentaje de poros.

La conductividad hidráulica del horizonte Ap está dentro del margen teórico (ver cuadro 2, apartado 2.2.6, arcilla con grietas). Para el horizonte Btd se obtuvo una conductividad hidráulica muy baja, con lo cual se determinó que dicho horizonte presenta un comportamiento poco permeable ante el flujo de agua.

En cuanto al pH, los resultados obtenidos indican que el suelo en estudio tiende a la condición de acidez.

### 4.3 Clasificación del suelo de acuerdo a la capacidad de uso

Se evaluaron los parámetros involucrados en la determinación de la capacidad de uso del suelo, los resultados se muestran en el cuadro 15:

Cuadro 15. Clasificación del terreno según su capacidad de uso.

Parámetro	Categoría	Clase
Erosión		
Pendiente ( $e_1$ )	< 15	III
Erosión sufrida ( $e_2$ )	Moderada	III
Suelos		
Profundidad efectiva ( $s_1$ )	> 120	I
Textura ( $s_2$ )		
- Suelo	Finas	III
- Subsuelo	Finas	III
Pedregosidad ( $s_3$ )	Leve	II
Fertilidad ( $s_4$ )	Muy baja	V
Toxicidad ( $s_5$ )	Leve	III
Salinidad ( $s_6$ )	Leve	I
Drenaje		
Drenaje ( $d_1$ )	Moderado lento a lento	III
Riesgo de inundación ( $d_2$ )	Nulo	I
Clima		
Zonas de vida ( $c_1$ )	bh - T	I
Período seco ( $c_2$ )	Moderado	I
Neblina ( $c_3$ )	Ausente	I
Viento ( $c_4$ )	Ausente a moderado	I

Del cuadro anterior se obtiene la clasificación respectiva, teniendo en cuenta que la limitante principal es por fertilidad ( $s_4$ ), lo cual implica que el terreno sea clasificado como clase V; aunque se pueden apreciar otras limitantes importantes como pendiente, erosión sufrida, textura y drenaje, siendo éstas dos últimas consecuencia del alto contenido de arcilla presente en el suelo.

La clasificación definitiva para el terreno en estudio se resume en el cuadro 16:

Cuadro 16. Clasificación definitiva del lote en estudio.

Clase	Subclase	Unidad de manejo
V	V e s d	V e <sub>1 2</sub> s <sub>2</sub> d <sub>1</sub>

#### 4.4 Control de erosión hídrica en cárcavas

Se determinaron las características generales de las cárcavas presentes en el terreno, de tal manera que se obtuvo el espaciamiento entre diques para el control de las mismas. Dichos espaciamientos así como los otros parámetros de diseño se exhiben en el siguiente cuadro:

Cuadro 17. Parámetros de diseño para los diques de control de cárcavas.

Pendientes (%)	Distanciamiento (m)	Altura Dique (m)	Altura Vertedero (m)	Empotramiento (m)
8	6,8	1,0	0,6	0,33
10	5,5	1,0	0,6	0,33
12	4,7	1,0	0,6	0,33
15	3,8	1,0	0,6	0,33
20	3,0	1,0	0,6	0,33

Del cuadro 17 se puede apreciar que el único parámetro que varía es el espaciamiento entre diques; esto se debe a que en general las cárcavas existentes presentaban similitud en cuanto a profundidad, por lo cual el diseño de los diques o muros es igual en cuanto a su estructura. Además se observa que conforme aumenta el gradiente o pendiente del fondo de la cárcava los distanciamientos entre diques disminuyen debido al aumento en el flujo de escorrentía.

#### 4.5 Diseño de las acequias de ladera

Mediante el plano de curvas de nivel se definieron distintas zonas de acuerdo a la pendiente, de manera tal que el diseño de las acequias varía en función de cada zona. El cuadro 18 exhibe la clasificación según pendiente, así como los intervalos y distanciamientos entre las acequias de ladera:

Cuadro 18. Distanciamientos entre acequias de ladera según pendiente del terreno.

<b>Pendiente (%)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Intervalo Vertical (m)</b>	<b>Intervalo Horizontal (m)</b>	<b>Distanciamiento entre acequias (m)</b>
2	0,04	0,3	0,38	19,00	19,0
3	0,04	0,3	0,42	14,00	14,0
4	0,04	0,3	0,46	11,50	11,5
5	0,04	0,3	0,50	10,00	10,0
7	0,04	0,3	0,58	8,29	8,3
8	0,04	0,3	0,62	7,75	7,8
10	0,04	0,3	0,70	7,00	7,0
12	0,04	0,3	0,78	6,50	6,5
14	0,04	0,3	0,86	6,14	6,2
16	0,04	0,3	0,94	5,88	5,9
18	0,04	0,3	1,02	5,67	5,8

Se puede apreciar como el distanciamiento entre las acequias de ladera es menor conforme aumenta la pendiente del terreno, de tal manera que en las áreas de mayor inclinación se diseñan las acequias más continuas entre sí, logrando con esto un mayor control de la escorrentía superficial.

#### 4.5.1 Caudal de diseño

El caudal de diseño de las acequias se determinó para cada una de ellas teniendo en cuenta las zonas de descarga de las mismas. Los resultados obtenidos para el caudal máximo de las acequias diseñadas se exhiben en el cuadro 19 y en el cuadro A1.1 del apartado de ANEXO 1.

Cuadro 19. Caudal de diseño para las acequias de ladera.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	I <sub>max</sub> (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1'	0,5	335	10,10	178,035	0,9721	0,24037
2'	0,5	444	12,54	168,961	0,6719	0,15767
3'	0,5	506	13,87	164,751	1,0787	0,24683
4'	0,5	710	18,01	153,839	2,5705	0,54923
5'	0,5	702	17,85	154,204	0,6998	0,14988
6'	0,5	697	17,75	154,435	0,6937	0,14879
7'	0,5	225	7,43	190,856	0,2069	0,05484
8'	0,5	227	7,48	190,571	0,1998	0,05288
9'	0,5	238	7,76	189,047	0,2015	0,05291
10'	0,5	244	7,91	188,245	0,2045	0,05347
11'	0,5	237	7,73	189,183	0,2024	0,05318
12'	0,5	222	7,35	191,289	0,1795	0,04769
13'	0,5	147	5,35	204,568	0,1166	0,03313
14'	0,5	43	2,07	244,164	0,0452	0,01533
15'	0,5	133	4,95	207,792	0,1050	0,03030
16'	0,5	129	4,84	208,775	0,0891	0,02582
17'	0,5	125	4,72	209,790	0,0850	0,02478
18'	0,5	31	1,61	254,704	0,0354	0,01252
19'	0,5	21	1,19	267,250	0,0226	0,00838
20'	0,5	96	3,85	218,293	0,1514	0,04590

Los caudales de diseño tal y como se puede observar, resultan bastante pequeños debido al poco tamaño de las áreas tributarias, lo cual implica que se está reduciendo el escurrimiento presente en el terreno.

#### **4.5.2 Dimensionamiento de las acequias de ladera**

Los parámetros hidráulicos de las acequias de ladera se muestran en el cuadro 20 y en el cuadro A1.2 del apartado de anexos:

La figura 16 muestra el trazo de las acequias en el campo, dicha figura (plano A2.2) se exhibe en el apartado de ANEXO 2.

Cuadro 20. Diseño hidráulico de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
1'	0,422	0,65	1,837	1	0	0,3	0,95
2'	0,389	0,62	1,765	1	0	0,3	0,92
3'	0,397	0,63	1,781	1	0	0,3	0,93
4'	0,413	0,64	1,817	1	0	0,3	0,94
5'	0,421	0,65	1,835	1	0	0,3	0,95
6'	0,440	0,66	1,876	1	0	0,3	0,96
7'	0,445	0,67	1,886	1	0	0,3	0,97
8'	0,436	0,66	1,868	1	0	0,3	0,96
9'	0,462	0,68	1,923	1	0	0,3	0,98
10'	0,458	0,68	1,914	1	0	0,3	0,98
11'	0,454	0,67	1,906	1	0	0,3	0,97
12'	0,448	0,67	1,893	1	0	0,3	0,97
13'	0,450	0,67	1,898	1	0	0,3	0,97
14'	0,451	0,67	1,899	1	0	0,3	0,97
15'	0,450	0,67	1,898	1	0	0,3	0,97
16'	0,451	0,67	1,899	1	0	0,3	0,97
17'	0,459	0,68	1,916	1	0	0,3	0,98
18'	0,456	0,67	1,909	1	0	0,3	0,97
19'	0,450	0,67	1,898	1	0	0,3	0,97
20'	0,447	0,67	1,891	1	0	0,3	0,97

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1 Conclusiones**

El suelo presenta una condición poco permeable, lo cual conlleva un gran potencial de escorrentía y por ende un arrastre de sedimentos hacia las zonas de descarga de los canales de drenaje así como a las zonas de protección ambiental.

Se diseñaron acequias de ladera de sección triangular, con espaciamientos promedio de 9 m y pendientes de 1% para controlar la escorrentía superficial presente en el terreno, debido a las altas pendientes y a las condiciones de textura del suelo.

Los espaciamientos de las acequias de ladera existentes en el terreno no son los adecuados por lo que los caudales que evacuan son de gran magnitud e implican problemas de erosión hídrica y formación de cárcavas en las zonas de descarga de los drenes.

Se diseñaron estructuras a base de piedra para el control de erosión y formación de cárcavas en las zonas de cultivo, así como como en los puntos de descarga de los drenes colindantes a las zonas de protección ambiental; dichas estructuras poseen una altura efectiva de 1 m y distanciamientos promedio de 4,7 m.

## **5.2 Recomendaciones**

Se deben construir gavetas de sedimentación en las zonas de descarga de las acequias de ladera, con la finalidad de evitar que los sedimentos sean arrastrados a las zonas verdes y quebradas aledañas, además de evitar la formación de cárcavas y daños al ambiente.

Se deben de manejar las aguas superficiales en estos terrenos de relieve ondulado conforme los diseños elaborados para la protección del suelo y del ambiente en general.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

- Cardoza, et.al. (2007). Protección, restauración y Conservación de Suelos Forestales. 3ra Edición. Jalisco, México. Editorial Tres60. 300p
- Cubero, D. (1989). Manual Práctico de Conservación de Suelos. San José: EUNED. 278 p.
- Cubero, D. (1994). Manual de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. San José, San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. 300 p.
- Chavarría, A. (2011). Manual de Laboratorio de Edafología. (No publicado).
- Chavarría, A. (2011). Manejo de Suelos y Aguas y Obras para la Conservación. (No publicado).
- Faustino, J. (1993). Conservación de Suelos y Aguas: Prácticas Mecánicas y estructurales. Turrialba, CATIE.
- FAO. (1978). La erosión del suelo por el agua. Italia.
- Hudson, N. (1982). Conservación del suelo. Editorial REVENTÉ. Barcelona, España. 400 p.
- Hull, W. (1974). Manual de Conservación de Suelos. Distrito Federal: LIMUSA.
- Morgan, R. (1996). Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, España. 378 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). (2010). Manual de Conservación de Suelos y Aguas. San José, Costa Rica. 420 p.
- Núñez, J. (2001). Manejo y Conservación de Suelos. San José, Costa Rica: EUNED. 288 p.
- Núñez, J. (2006). Manual de Laboratorio de Edafología. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica.
- Oyarzun, C. (1993). Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso de la cuenca del río Bío-Bío, IX Región, Chile. Tes. Dr. Cs. Ambientales, Escuela Graduados de la Universidad de Concepción. 150 p.

Py, C. (1969). La piña tropical. Barcelona, España, Blume. 278 p

Suárez, F. (1982). Conservación de Suelos. IICA. San José, Costa Rica. 315 p.

Tragsa, et.al. (1998). Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de erosión. Barcelona, España. Editorial Aedos, S. A. 945 p.

USDA-SCS (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Suelos). (1974). Manual de Conservación de Suelos. Editorial Limusa. México. 445 p.

Villón, M. (2007). Drenaje. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 524p.

Villón, M. (2009). Manual práctico para el diseño de canales. 2a edición. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.134p.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Caudales de diseño y parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Cuadro A1. 1. Caudales de diseño para las acequias de ladera.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	I <sub>max</sub> (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
1	0,5	114	4,404	212,757	0,1722	0,05089
2	0,5	137	5,074	206,837	0,1168	0,03355
3	0,5	162	5,772	201,438	0,1326	0,03710
4	0,5	186	6,420	196,988	0,1668	0,04564
5	0,5	208	6,998	193,387	0,1876	0,05039
6	0,5	221	7,332	191,434	0,2347	0,06240
7	0,5	232	7,611	189,869	0,2483	0,06548
8	0,5	238	7,762	189,047	0,2276	0,05976
9	0,5	252	8,112	187,206	0,2998	0,07795
10	0,5	264	8,408	185,707	0,2900	0,07480
11	0,5	279	8,773	183,927	0,2815	0,07191
12	0,5	224	7,408	191,000	0,2553	0,06773
13	0,5	234	7,662	189,593	0,2628	0,06920
14	0,5	247	7,988	187,851	0,2669	0,06964
15	0,5	260	8,309	186,199	0,2685	0,06944
16	0,5	261	8,334	186,075	0,2690	0,06953
17	0,5	263	8,383	185,830	0,2923	0,07544
18	0,5	255	8,186	186,825	0,2816	0,07306
19	0,5	258	8,260	186,448	0,2676	0,06931
20	0,5	262	8,358	185,952	0,2596	0,06705
21	0,5	74	3,157	226,677	0,0626	0,01970
22	0,5	56	2,548	235,655	0,0507	0,01659
23	0,5	39	1,928	247,309	0,0415	0,01426
24	0,5	89	3,640	220,732	0,0602	0,01844
25	0,5	40	1,966	246,494	0,0591	0,02023
26	0,5	58	2,617	234,525	0,0587	0,01913
27	0,5	60	2,687	233,433	0,0579	0,01876
21'	0,5	79	3,321	224,571	0,1214	0,03787
22'	0,5	35	1,774	250,795	0,0698	0,02431
23'	0,5	292	9,086	182,460	0,2769	0,07017
24'	0,5	223	7,383	191,144	0,2583	0,06857
25'	0,5	160	5,718	201,838	0,2236	0,06268
26'	0,5	88	3,608	221,096	0,1289	0,03958
27'	0,5	210	7,049	193,079	0,3121	0,08369

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
30'	0,5	119	4,552	211,375	0,1069	0,03138
31'	0,5	105	4,134	215,406	0,0967	0,02893
32'	0,5	90	3,671	220,372	0,0840	0,02571
33'	0,5	74	3,157	226,677	0,0725	0,02283
34'	0,5	71	3,058	228,010	0,0670	0,02122
35'	0,5	69	2,992	228,931	0,0621	0,01975
36'	0,5	59	2,652	233,974	0,0583	0,01895
37'	0,5	49	2,299	239,956	0,0495	0,01650
1"	0,5	67	2,925	229,878	0,1305	0,04165
2"	0,5	77	3,256	225,397	0,1595	0,04993
3"	0,5	99	3,951	217,302	0,1825	0,05508
4"	0,5	112	4,344	213,327	0,2269	0,06723
5"	0,5	130	4,873	208,527	0,3011	0,08720
6"	0,5	142	5,216	205,683	0,3234	0,09239
7"	0,5	149	5,412	204,133	0,3115	0,08832
8"	0,5	150	5,440	203,917	0,2929	0,08295
9"	0,5	140	5,159	206,140	0,3021	0,08649
10"	0,5	142	5,216	205,683	0,2345	0,06699
1a	0,5	45	2,153	242,700	0,0177	0,00596
2a	0,5	65	2,857	230,854	0,0439	0,01407
3a	0,5	66	2,891	230,363	0,0464	0,01485
4a	0,5	71	3,058	228,010	0,0540	0,01710
5a	0,5	68	2,958	229,401	0,05852	0,01865
6a	0,5	71	3,058	228,010	0,06145	0,01946
7a	0,5	74	3,157	226,677	0,06907	0,02175
8a	0,5	82	3,417	223,371	0,07442	0,02309
9a	0,5	89	3,640	220,732	0,07554	0,02316
10a	0,5	75	3,190	226,245	0,07396	0,02324
1b	0,5	152	5,496	203,491	0,1058	0,02990
2b	0,5	150	5,440	203,917	0,0859	0,02433
3b	0,5	155	5,574	202,903	0,1254	0,03534
4b	0,5	192	6,579	195,965	0,1673	0,04555
5b	0,5	233	7,632	189,759	0,1738	0,04580
6b	0,5	238	7,767	189,020	0,1924	0,05052
7b	0,5	331	10,012	178,402	0,2299	0,05697

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	Imax (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
11b	0,5	502	13,795	164,993	0,2356	0,05399
12b	0,5	562	15,047	161,358	0,2173	0,04870
13b	0,5	234	7,662	189,593	0,1939	0,05106
14b	0,5	243	7,888	188,377	0,1915	0,05010
15b	0,5	106	4,164	215,101	0,0896	0,02676
16b	0,5	102	4,043	216,340	0,0790	0,02374
17b	0,5	98	3,920	217,629	0,0702	0,02122
18b	0,5	96	3,858	218,293	0,0699	0,02120
19b	0,5	92	3,734	219,664	0,0661	0,02018
20b	0,5	92	3,734	219,664	0,0645	0,01968
21b	0,5	96	3,858	218,293	0,0908	0,02752
22b	0,5	94	3,796	218,971	0,0910	0,02769
23b	0,5	98	3,920	217,629	0,0931	0,02813
24b	0,5	93	3,765	219,316	0,1012	0,03083
25b	0,5	79	3,321	224,571	0,0542	0,01690
26b	0,5	56	2,548	235,655	0,0364	0,01193
27b	0,5	59	2,652	233,974	0,0359	0,01167
28b	0,5	60	2,687	233,433	0,0361	0,01171
29b	0,5	63	2,790	231,861	0,0358	0,01154
30b	0,5	66	2,891	230,363	0,0370	0,01184
31b	0,5	61	2,721	232,900	0,0351	0,01135
32b	0,5	58	2,617	234,525	0,0338	0,01101
33b	0,5	57	2,583	235,085	0,0345	0,01126
34b	0,5	57	2,583	235,085	0,0350	0,01143
35b	0,5	54	2,477	236,827	0,0349	0,01148
36b	0,5	52	2,406	238,042	0,0344	0,01137
37b	0,5	50	2,335	239,306	0,0331	0,01100
38b	0,5	49	2,299	239,956	0,0321	0,01070
39b	0,5	51	2,371	238,668	0,0415	0,01376
40b	0,5	56	2,548	235,655	0,0599	0,01961
41b	0,5	62	2,755	232,376	0,0617	0,01991
42b	0,5	67	2,925	229,878	0,0669	0,02136
43b	0,5	72	3,092	227,560	0,0759	0,02399
44b	0,5	72	3,092	227,560	0,0741	0,02342
45b	0,5	71	3,058	228,010	0,0715	0,02264

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
46b	0,5	24	1,327	262,948	0,0637	0,02326
47b	0,5	103	4,073	216,026	0,0973	0,02919
48b	0,5	98	3,920	217,629	0,0908	0,02745
49b	0,5	53	2,442	237,429	0,0479	0,01580
50b	0,5	52	2,406	238,042	0,0405	0,01339
51b	0,5	51	2,371	238,668	0,0396	0,01313
52b	0,5	51	2,371	238,668	0,0389	0,01289
53b	0,5	51	2,371	238,668	0,0380	0,01260
54b	0,5	51	2,371	238,668	0,0388	0,01286
55b	0,5	56	2,548	235,655	0,0349	0,01142
56b	0,5	57	2,583	235,085	0,0380	0,01241
57b	0,5	162	5,772	201,438	0,2276	0,06368
58b	0,5	58	2,617	234,525	0,1240	0,04039
59b	0,5	178	6,207	198,404	0,2433	0,06704
60b	0,5	138	5,102	206,603	0,1950	0,05595
61b	0,5	126	4,757	209,533	0,1718	0,05000
62b	0,5	86	3,545	221,836	0,0910	0,02804
63b	0,5	77	3,256	225,397	0,0645	0,02019
64b	0,5	40	1,966	246,494	0,0382	0,01308
65b	0,5	40	1,966	246,494	0,0371	0,01270
66b	0,5	38	1,890	248,146	0,0349	0,01203
67b	0,5	35	1,774	250,795	0,0323	0,01125
68b	0,5	33	1,695	252,690	0,0277	0,00972
69b	0,5	30	1,575	255,760	0,0259	0,00920
70b	0,5	30	1,575	255,760	0,0214	0,00760
71b	0,5	32	1,656	253,681	0,0230	0,00810
72b	0,5	33	1,695	252,690	0,0233	0,00818
73b	0,5	22	1,241	265,751	0,0204	0,00753
74b	0,5	603	15,881	159,101	0,6916	0,15283
75b	0,5	336	10,133	177,899	0,3689	0,09114
76b	0,5	353	10,511	176,367	0,3537	0,08665
77b	0,5	370	10,913	174,796	0,3791	0,09204
78b	0,5	287	8,966	183,017	0,4411	0,11212
79b	0,5	265	8,432	185,586	0,3651	0,09411
80b	0,5	249	8,037	187,592	0,3404	0,08869
81b	0,5	263	8,383	185,830	0,2497	0,06445

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	I <sub>max</sub> (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
82b	0,5	231	7,586	190,009	0,2111	0,05571
83b	0,5	209	7,023	193,232	0,2029	0,05445
84b	0,5	187	6,447	196,815	0,2130	0,05822
85b	0,5	172	6,045	199,509	0,1186	0,03286
86b	0,5	160	5,718	201,838	0,1213	0,03400
87b	0,5	157	5,635	202,448	0,1661	0,04670
88b	0,5	155	5,579	202,861	0,1819	0,05125
89b	0,5	166	5,882	200,652	0,1715	0,04779
90b	0,5	165	5,855	200,847	0,1811	0,05052
91b	0,5	141	5,187	205,910	0,1946	0,05565
92b	0,5	37	1,852	249,005	0,0609	0,02106
93b	0,5	33	1,695	252,690	0,0493	0,01730
94b	0,5	26	1,411	260,370	0,0401	0,01450
95b	0,5	21	1,197	267,250	0,0338	0,01255
96b	0,5	23	1,284	264,319	0,0271	0,00995
1b'	0,5	101	4,018	216,594	0,0705	0,02121
2b'	0,5	100	3,981	216,978	0,0573	0,01726
3b'	0,5	103	4,079	215,963	0,0836	0,02508
4b'	0,5	128	4,815	209,026	0,1116	0,03239
5b'	0,5	155	5,585	202,819	0,1158	0,03263
6b'	0,5	159	5,684	202,081	0,1283	0,03600
7b'	0,5	221	7,327	191,463	0,1533	0,04076
8b'	0,5	217	7,224	192,052	0,1606	0,04284
9b'	0,5	250	8,052	187,514	0,1512	0,03938
10b'	0,5	290	9,029	182,726	0,1518	0,03852
11b'	0,5	335	10,095	178,054	0,1571	0,03885
12b'	0,5	375	11,012	174,419	0,1449	0,03510
74b'	0,5	172	6,045	199,509	0,1951	0,05405
75b'	0,5	198	6,726	195,043	0,2166	0,05868
76b'	0,5	207	6,977	193,511	0,2078	0,05584
77b'	0,5	218	7,244	191,939	0,2227	0,05936
1c	0,5	268	8,505	185,223	0,1711	0,04402
2c	0,5	276	8,700	184,275	0,1688	0,04320
3c	0,5	285	8,918	183,242	0,1697	0,04319
4c	0,5	278	8,749	184,043	0,1768	0,04519

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	Imax (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
5c	0,5	235	7,687	189,456	0,1863	0,04902
6c	0,5	220	7,306	191,580	0,1815	0,04829
7c	0,5	221	7,332	191,434	0,1793	0,04767
8c	0,5	236	7,712	189,319	0,1801	0,04736
9c	0,5	255	8,186	186,825	0,2545	0,06604
10c	0,5	276	8,700	184,275	0,2664	0,06818
11c	0,5	302	9,325	181,375	0,3015	0,07595
12c	0,5	314	9,609	180,120	0,3937	0,09849
13c	0,5	308	9,467	180,742	0,3222	0,08088
14c	0,5	214	7,152	192,471	0,2421	0,06472
15c	0,5	88	3,608	221,096	0,0993	0,03049
16c	0,5	68	2,958	229,401	0,0696	0,02218
17c	0,5	47	2,226	241,299	0,0524	0,01756
18c	0,5	77	3,256	225,397	0,0990	0,03099
19c	0,5	60	2,687	233,433	0,0578	0,01874
20c	0,5	49	2,299	239,956	0,0429	0,01430
21c	0,5	42	2,041	244,922	0,0359	0,01221
22c	0,5	35	1,774	250,795	0,0251	0,00874
23c	0,5	27	1,453	259,154	0,0210	0,00756
24c	0,5	30	1,575	255,760	0,0422	0,01499
25c	0,5	35	1,790	250,429	0,0365	0,01271
26c	0,5	31	1,600	255,122	0,0304	0,01078
27c	0,5	40	1,957	246,696	0,0392	0,01341
24c'	0,5	30	1,575	255,760	0,0422	0,01499
25c'	0,5	24	1,310	263,490	0,0244	0,00891
26c'	0,5	20	1,171	268,183	0,0203	0,00755
27c'	0,5	13	0,840	282,084	0,0131	0,00511
1d	0,5	231	7,591	189,979	0,2238	0,05906
2d	0,5	234	7,655	189,630	0,1474	0,03881
3d	0,5	238	7,750	189,113	0,1572	0,04130
4d	0,5	246	7,955	188,021	0,1647	0,04302
5d	0,5	254	8,159	186,965	0,1579	0,04100
6d	0,5	259	8,283	186,332	0,1749	0,04526
7d	0,5	271	8,576	184,876	0,2398	0,06157
8d	0,5	277	8,729	184,136	0,2330	0,05958
9d	0,5	280	8,806	183,772	0,2258	0,05763

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
10d	0,5	290	9,048	182,634	0,2199	0,05579
11d	0,5	301	9,289	181,535	0,2298	0,05793
12d	0,5	307	9,454	180,800	0,2368	0,05947
13d	0,5	304	9,364	181,199	0,2277	0,05732
14d	0,5	312	9,558	180,342	0,2210	0,05536
15d	0,5	264	8,408	185,707	0,2058	0,05308
16d	0,5	258	8,260	186,448	0,2119	0,05487
17d	0,5	245	7,938	188,113	0,2274	0,05941
18d	0,5	249	8,037	187,592	0,2165	0,05641
19d	0,5	254	8,161	186,951	0,2105	0,05466
20d	0,5	266	8,457	185,464	0,2296	0,05914
21d	0,5	280	8,797	183,812	0,2482	0,06336
22d	0,5	291	9,062	182,571	0,2395	0,06073
26d	0,5	115	4,434	212,476	0,1514	0,04468
27d	0,5	134	4,988	207,551	0,1229	0,03543
28d	0,5	84	3,481	222,594	0,1438	0,04446
29d	0,5	90	3,671	220,372	0,0840	0,02571
30d	0,5	81	3,385	223,766	0,0720	0,02238
31d	0,5	71	3,058	228,010	0,0427	0,01352
32d	0,5	62	2,755	232,376	0,0401	0,01294
33d	0,5	52	2,406	238,042	0,0357	0,01180
34d	0,5	42	2,041	244,922	0,0297	0,01010
35d	0,5	147	5,356	204,568	0,1044	0,02966
36d	0,5	126	4,757	209,533	0,0980	0,02852
37d	0,5	105	4,134	215,406	0,0877	0,02624
38d	0,5	63	2,790	231,861	0,0835	0,02689
39d	0,5	39	1,928	247,309	0,0409	0,01405
40d	0,5	21	1,197	267,250	0,0244	0,00906
1d'	0,5	136	5,039	207,123	0,1315	0,03782
2d'	0,5	137	5,081	206,774	0,0865	0,02485
3d'	0,5	139	5,144	206,257	0,0924	0,02646
4d'	0,5	144	5,280	205,165	0,0968	0,02757
5d'	0,5	149	5,415	204,109	0,0927	0,02629
6d'	0,5	152	5,498	203,476	0,1027	0,02903
7d'	0,5	159	5,693	202,020	0,1408	0,03951
8d'	0,5	163	5,794	201,279	0,1368	0,03825
9d'	0,5	165	5,845	200,915	0,1326	0,03700

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
10d'	0,5	171	6,006	199,778	0,1292	0,03584
11d'	0,5	176	6,166	198,679	0,1349	0,03724
12d'	0,5	181	6,275	197,944	0,1391	0,03824
13d'	0,5	178	6,216	198,343	0,1338	0,03685
14d'	0,5	183	6,344	197,485	0,1298	0,03560
1e	0,5	107	4,194	214,799	0,0913	0,02724
2e	0,5	106	4,164	215,101	0,0927	0,02769
3e	0,5	99	3,951	217,302	0,0906	0,02734
4e	0,5	93	3,765	219,316	0,0794	0,02419
5e	0,5	84	3,481	222,594	0,0650	0,02010
6e	0,5	63	2,790	231,861	0,0589	0,01897
7e	0,5	22	1,241	265,751	0,0253	0,00934
8e	0,5	13	0,828	282,698	0,0133	0,00522
9e	0,5	13	0,828	282,698	0,0159	0,00624
10e	0,5	13	0,828	282,698	0,0134	0,00526
11e	0,5	133	4,959	207,792	0,1949	0,05625
12e	0,5	146	5,328	204,788	0,1514	0,04306
13e	0,5	179	6,233	198,224	0,2015	0,05548
14e	0,5	217	7,230	192,023	0,2322	0,06193
15e	0,5	263	8,383	185,830	0,2905	0,07498
16e	0,5	305	9,396	181,057	0,3128	0,07866
17e	0,5	201	6,815	194,490	0,2184	0,05900
18e	0,5	193	6,606	195,798	0,2006	0,05455
19e	0,5	165	5,855	200,847	0,1951	0,05442
20e	0,5	175	6,126	198,952	0,2111	0,05833
21e	0,5	183	6,340	197,512	0,2073	0,05687
22e	0,5	199	6,763	194,812	0,2186	0,05915
23e	0,5	206	6,946	193,698	0,1822	0,04902
24e	0,5	217	7,230	192,023	0,2015	0,05374
25e	0,5	226	7,459	190,713	0,1895	0,05019
26e	0,5	235	7,687	189,456	0,2121	0,05581
27e	0,5	275	8,676	184,392	0,1950	0,04994
28e	0,5	258	8,260	186,448	0,1861	0,04819
29e	0,5	47	2,226	241,299	0,0570	0,01910
30e	0,5	52	2,406	238,042	0,0693	0,02291
31e	0,5	128	4,815	209,026	0,1083	0,03144

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

Acequia	C	L (m)	Tc (min)	Imax (mm/h)	A (has)	Q (m <sup>3</sup> /s)
32e	0,5	139	5,130	206,370	0,1049	0,03007
33e	0,5	162	5,772	201,438	0,1002	0,02803
34e	0,5	166	5,882	200,652	0,1232	0,03433
35e	0,5	167	5,909	200,459	0,1243	0,03461
36e	0,5	169	5,964	200,075	0,1109	0,03082
37e	0,5	163	5,800	201,240	0,1212	0,03388
38e	0,5	162	5,772	201,438	0,1180	0,03301
39e	0,5	159	5,690	202,040	0,1156	0,03244
40e	0,5	158	5,662	202,243	0,1113	0,03126
41e	0,5	157	5,635	202,448	0,1090	0,03065
42e	0,5	160	5,718	201,838	0,1146	0,03213
43e	0,5	161	5,745	201,638	0,1123	0,03145
44e	0,5	131	4,902	208,280	0,1109	0,03208
45e	0,5	95	3,827	218,630	0,0890	0,02703
46e	0,5	66	2,891	230,363	0,0620	0,01984
47e	0,5	45	2,153	242,700	0,0433	0,01460
48e	0,5	30	1,575	255,760	0,0391	0,01389
49e	0,5	14	0,876	280,310	0,0228	0,00888
50e	0,5	14	0,876	280,310	0,0133	0,00518
1f	0,5	165	4,878	208,478	0,3478	0,10071
2f	0,5	166	4,905	208,247	0,1296	0,03748
3f	0,5	81	2,484	236,716	0,0613	0,02015
4f	0,5	75	2,302	239,891	0,0563	0,01876
5f	0,5	75	2,302	239,891	0,0501	0,01669
6f	0,5	35	1,055	272,537	0,0211	0,00799
7f	0,5	31	0,928	277,916	0,0230	0,00888
8f	0,5	31	0,928	277,916	0,0210	0,00811
9f	0,5	32	0,960	276,505	0,0168	0,00645
10f	0,5	33	0,991	275,139	0,0190	0,00726
11f	0,5	34	1,023	273,818	0,0202	0,00768
12f	0,5	36	1,087	271,294	0,0223	0,00840
13f	0,5	39	1,182	267,778	0,0215	0,00800
14f	0,5	13	0,360	317,526	0,0185	0,00816
15f	0,5	76	2,333	239,343	0,0726	0,02413
16f	0,5	60	1,842	249,230	0,0587	0,02032
17f	0,5	105	3,195	226,182	0,2014	0,06327

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
18f	0,5	96	2,931	229,789	0,1067	0,03405
19f	0,5	120	3,628	220,867	0,1493	0,04580
20f	0,5	136	4,080	215,951	0,1815	0,05444
21f	0,5	160	4,743	209,658	0,1985	0,05780
22f	0,5	172	5,067	206,890	0,1690	0,04856
23f	0,5	8	0,209	340,256	0,0140	0,00662
24f	0,5	10	0,269	329,769	0,0121	0,00554
25f	0,5	103	3,137	226,953	0,0979	0,03086
26f	0,5	112	3,398	223,605	0,0729	0,02264
27f	0,5	124	3,742	219,573	0,0866	0,02641
28f	0,5	133	3,996	216,822	0,1075	0,03237
29f	0,5	227	6,503	196,450	0,2095	0,05716
30f	0,5	245	6,958	193,626	0,1517	0,04080
31f	0,5	260	7,331	191,440	0,1701	0,04523
32f	0,5	136	4,080	215,951	0,1153	0,03458
33f	0,5	116	3,513	222,210	0,0952	0,02938
34f	0,5	107	3,253	225,427	0,0856	0,02680
35f	0,5	98	2,990	228,956	0,0746	0,02372
36f	0,5	88	2,694	233,322	0,0837	0,02712
37f	0,5	84	2,574	235,223	0,0873	0,02852
38f	0,5	72	2,211	241,585	0,0747	0,02506
39f	0,5	34	1,023	273,818	0,0376	0,01430
40f	0,5	108	3,282	225,055	0,0961	0,03004
41f	0,5	120	3,628	220,867	0,0996	0,03055
42f	0,5	135	4,052	216,239	0,1006	0,03021
43f	0,5	153	4,551	211,380	0,1235	0,03626
44f	0,5	167	4,932	208,017	0,1108	0,03201
45f	0,5	197	5,730	201,749	0,1290	0,03615
46f	0,5	223	6,402	197,111	0,1474	0,04035
47f	0,5	254	7,182	192,298	0,1691	0,04516
48f	0,5	97	2,961	229,370	0,0673	0,02144
49f	0,5	73	2,241	241,012	0,0451	0,01510
50f	0,5	45	1,372	261,545	0,0396	0,01438
51f	0,5	36	1,087	271,294	0,0304	0,01145
52f	0,5	31	0,928	277,916	0,0299	0,01154
53f	0,5	28	0,832	282,461	0,0255	0,01000
54f	0,5	110	3,340	224,322	0,1130	0,03521

Continuación cuadro A1.1 caudales de diseño.

<b>Acequia</b>	<b>C</b>	<b>L (m)</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Imax (mm/h)</b>	<b>A (has)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
55f	0,5	111	3,369	223,962	0,1472	0,04579
56f	0,5	37	1,119	270,089	0,0636	0,02386
57f	0,5	194	5,651	202,327	0,2420	0,06800
58f	0,5	214	6,171	198,646	0,2501	0,06900
59f	0,5	225	6,453	196,779	0,2278	0,06226
60f	0,5	244	6,933	193,777	0,1915	0,05154
61f	0,5	141	4,220	214,544	0,1298	0,03868
62f	0,5	121	3,656	220,540	0,1115	0,03415
63f	0,5	122	3,685	220,215	0,1253	0,03832
64f	0,5	106	3,224	225,802	0,1098	0,03443
65f	0,5	96	2,931	229,789	0,0816	0,02604
66f	0,5	83	2,544	235,714	0,0701	0,02295
67f	0,5	53	1,624	254,503	0,0520	0,01838

Cuadro A1. 2. Parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
1	0,042	0,21	0,582	1	0	0,3	0,51
2	0,028	0,17	0,473	1	0	0,3	0,47
3	0,031	0,18	0,497	1	0	0,3	0,48
4	0,038	0,20	0,552	1	0	0,3	0,50
5	0,042	0,20	0,580	1	0	0,3	0,50
6	0,052	0,23	0,645	1	0	0,3	0,53
7	0,055	0,23	0,661	1	0	0,3	0,53
8	0,050	0,22	0,631	1	0	0,3	0,52
9	0,065	0,25	0,721	1	0	0,3	0,55
10	0,062	0,25	0,706	1	0	0,3	0,55
11	0,060	0,24	0,692	1	0	0,3	0,54
12	0,056	0,24	0,672	1	0	0,3	0,54
13	0,058	0,24	0,679	1	0	0,3	0,54
14	0,058	0,24	0,681	1	0	0,3	0,54
15	0,058	0,24	0,680	1	0	0,3	0,54
16	0,058	0,24	0,681	1	0	0,3	0,54
17	0,063	0,25	0,709	1	0	0,3	0,55
18	0,061	0,25	0,698	1	0	0,3	0,55
19	0,058	0,24	0,680	1	0	0,3	0,54
20	0,056	0,24	0,669	1	0	0,3	0,54
21	0,016	0,13	0,362	1	0	0,3	0,43
22	0,014	0,12	0,333	1	0	0,3	0,42
23	0,012	0,11	0,308	1	0	0,3	0,41
24	0,015	0,12	0,351	1	0	0,3	0,42
25	0,017	0,13	0,367	1	0	0,3	0,43
26	0,016	0,13	0,357	1	0	0,3	0,43
27	0,016	0,13	0,354	1	0	0,3	0,43
28	0,015	0,12	0,349	1	0	0,3	0,42
29	0,016	0,13	0,354	1	0	0,3	0,43
30	0,016	0,13	0,354	1	0	0,3	0,43
21'	0,032	0,18	0,502	1	0	0,3	0,48
22'	0,020	0,14	0,403	1	0	0,3	0,44
23'	0,058	0,24	0,684	1	0	0,3	0,54
24'	0,057	0,24	0,676	1	0	0,3	0,54
25'	0,052	0,23	0,646	1	0	0,3	0,53
26'	0,033	0,18	0,514	1	0	0,3	0,48
27'	0,070	0,26	0,747	1	0	0,3	0,56

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
28'	0,033	0,18	0,515	1	0	0,3	0,48
29'	0,028	0,17	0,471	1	0	0,3	0,47
30'	0,026	0,16	0,457	1	0	0,3	0,46
31'	0,024	0,16	0,439	1	0	0,3	0,46
32'	0,021	0,15	0,414	1	0	0,3	0,45
33'	0,019	0,14	0,390	1	0	0,3	0,44
34'	0,018	0,13	0,376	1	0	0,3	0,43
35'	0,016	0,13	0,363	1	0	0,3	0,43
36'	0,016	0,13	0,355	1	0	0,3	0,43
37'	0,014	0,12	0,332	1	0	0,3	0,42
1"	0,035	0,19	0,527	1	0	0,3	0,49
2"	0,042	0,20	0,577	1	0	0,3	0,50
3"	0,046	0,21	0,606	1	0	0,3	0,51
4"	0,056	0,24	0,669	1	0	0,3	0,54
5"	0,073	0,27	0,762	1	0	0,3	0,57
6"	0,077	0,28	0,785	1	0	0,3	0,58
7"	0,074	0,27	0,767	1	0	0,3	0,57
8"	0,069	0,26	0,744	1	0	0,3	0,56
9"	0,072	0,27	0,759	1	0	0,3	0,57
10"	0,056	0,24	0,668	1	0	0,3	0,54
1a	0,005	0,07	0,199	1	0	0,3	0,37
2a	0,012	0,11	0,306	1	0	0,3	0,41
3a	0,012	0,11	0,315	1	0	0,3	0,41
4a	0,014	0,12	0,338	1	0	0,3	0,42
5a	0,016	0,12	0,353	1	0	0,3	0,42
6a	0,016	0,13	0,360	1	0	0,3	0,43
7a	0,018	0,13	0,381	1	0	0,3	0,43
8a	0,019	0,14	0,392	1	0	0,3	0,44
9a	0,019	0,14	0,393	1	0	0,3	0,44
10a	0,019	0,14	0,394	1	0	0,3	0,44
1b	0,025	0,16	0,446	1	0	0,3	0,46
2b	0,020	0,14	0,403	1	0	0,3	0,44
3b	0,029	0,17	0,485	1	0	0,3	0,47
4b	0,038	0,19	0,551	1	0	0,3	0,49
5b	0,038	0,20	0,553	1	0	0,3	0,50
6b	0,042	0,21	0,580	1	0	0,3	0,51
7b	0,047	0,22	0,616	1	0	0,3	0,52

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
8b	0,050	0,22	0,632	1	0	0,3	0,52
9b	0,046	0,21	0,605	1	0	0,3	0,51
10b	0,045	0,21	0,598	1	0	0,3	0,51
11b	0,045	0,21	0,600	1	0	0,3	0,51
12b	0,041	0,20	0,570	1	0	0,3	0,50
13b	0,043	0,21	0,583	1	0	0,3	0,51
14b	0,042	0,20	0,578	1	0	0,3	0,50
15b	0,022	0,15	0,422	1	0	0,3	0,45
16b	0,020	0,14	0,398	1	0	0,3	0,44
17b	0,018	0,13	0,376	1	0	0,3	0,43
18b	0,018	0,13	0,376	1	0	0,3	0,43
19b	0,017	0,13	0,367	1	0	0,3	0,43
20b	0,016	0,13	0,362	1	0	0,3	0,43
21b	0,023	0,15	0,428	1	0	0,3	0,45
22b	0,023	0,15	0,430	1	0	0,3	0,45
23b	0,023	0,15	0,433	1	0	0,3	0,45
24b	0,026	0,16	0,453	1	0	0,3	0,46
25b	0,014	0,12	0,336	1	0	0,3	0,42
26b	0,010	0,10	0,282	1	0	0,3	0,40
27b	0,010	0,10	0,279	1	0	0,3	0,40
28b	0,010	0,10	0,279	1	0	0,3	0,40
29b	0,010	0,10	0,277	1	0	0,3	0,40
30b	0,010	0,10	0,281	1	0	0,3	0,40
31b	0,009	0,10	0,275	1	0	0,3	0,40
32b	0,009	0,10	0,271	1	0	0,3	0,40
33b	0,009	0,10	0,274	1	0	0,3	0,40
34b	0,010	0,10	0,276	1	0	0,3	0,40
35b	0,010	0,10	0,277	1	0	0,3	0,40
36b	0,009	0,10	0,275	1	0	0,3	0,40
37b	0,009	0,10	0,271	1	0	0,3	0,40
38b	0,009	0,09	0,267	1	0	0,3	0,39
39b	0,011	0,11	0,303	1	0	0,3	0,41
40b	0,016	0,13	0,362	1	0	0,3	0,43
41b	0,017	0,13	0,364	1	0	0,3	0,43
42b	0,018	0,13	0,377	1	0	0,3	0,43
43b	0,020	0,14	0,400	1	0	0,3	0,44
44b	0,020	0,14	0,395	1	0	0,3	0,44

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

<b>Acequia</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>y (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>S (%)</b>	<b>b (m)</b>	<b>B.L (m)</b>	<b>H (m)</b>
45b	0,019	0,14	0,389	1	0	0,3	0,44
46b	0,019	0,14	0,394	1	0	0,3	0,44
47b	0,024	0,16	0,441	1	0	0,3	0,46
48b	0,023	0,15	0,428	1	0	0,3	0,45
49b	0,013	0,11	0,325	1	0	0,3	0,41
50b	0,011	0,11	0,299	1	0	0,3	0,41
51b	0,011	0,10	0,296	1	0	0,3	0,40
52b	0,011	0,10	0,293	1	0	0,3	0,40
53b	0,010	0,10	0,290	1	0	0,3	0,40
54b	0,011	0,10	0,293	1	0	0,3	0,40
55b	0,010	0,10	0,276	1	0	0,3	0,40
56b	0,010	0,10	0,288	1	0	0,3	0,40
57b	0,053	0,23	0,652	1	0	0,3	0,53
58b	0,034	0,18	0,519	1	0	0,3	0,48
59b	0,056	0,24	0,669	1	0	0,3	0,54
60b	0,047	0,22	0,611	1	0	0,3	0,52
61b	0,042	0,20	0,577	1	0	0,3	0,50
62b	0,023	0,15	0,432	1	0	0,3	0,45
63b	0,017	0,13	0,367	1	0	0,3	0,43
64b	0,011	0,10	0,295	1	0	0,3	0,40
65b	0,011	0,10	0,291	1	0	0,3	0,40
66b	0,010	0,10	0,283	1	0	0,3	0,40
67b	0,009	0,10	0,274	1	0	0,3	0,40
68b	0,008	0,09	0,255	1	0	0,3	0,39
69b	0,008	0,09	0,248	1	0	0,3	0,39
70b	0,006	0,08	0,225	1	0	0,3	0,38
71b	0,007	0,08	0,232	1	0	0,3	0,38
72b	0,007	0,08	0,233	1	0	0,3	0,38
73b	0,006	0,08	0,224	1	0	0,3	0,38
74b	0,127	0,36	1,009	1	0	0,3	0,66
75b	0,076	0,28	0,779	1	0	0,3	0,58
76b	0,072	0,27	0,760	1	0	0,3	0,57
77b	0,077	0,28	0,783	1	0	0,3	0,58
78b	0,093	0,31	0,865	1	0	0,3	0,61
79b	0,078	0,28	0,792	1	0	0,3	0,58
80b	0,074	0,27	0,769	1	0	0,3	0,57
81b	0,054	0,23	0,655	1	0	0,3	0,53

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

<b>Acequia</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>y (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>S (%)</b>	<b>b (m)</b>	<b>B.L (m)</b>	<b>H (m)</b>
82b	0,046	0,22	0,609	1	0	0,3	0,52
83b	0,045	0,21	0,603	1	0	0,3	0,51
84b	0,049	0,22	0,623	1	0	0,3	0,52
85b	0,027	0,17	0,468	1	0	0,3	0,47
86b	0,028	0,17	0,476	1	0	0,3	0,47
87b	0,039	0,20	0,558	1	0	0,3	0,50
88b	0,043	0,21	0,585	1	0	0,3	0,51
89b	0,040	0,20	0,564	1	0	0,3	0,50
90b	0,042	0,21	0,580	1	0	0,3	0,51
91b	0,046	0,22	0,609	1	0	0,3	0,52
92b	0,018	0,13	0,375	1	0	0,3	0,43
93b	0,014	0,12	0,340	1	0	0,3	0,42
94b	0,012	0,11	0,311	1	0	0,3	0,41
95b	0,010	0,10	0,289	1	0	0,3	0,40
96b	0,008	0,09	0,258	1	0	0,3	0,39
1b'	0,018	0,13	0,376	1	0	0,3	0,43
2b'	0,014	0,12	0,339	1	0	0,3	0,42
3b'	0,021	0,14	0,409	1	0	0,3	0,44
4b'	0,027	0,16	0,465	1	0	0,3	0,46
5b'	0,027	0,16	0,466	1	0	0,3	0,46
6b'	0,030	0,17	0,490	1	0	0,3	0,47
7b'	0,034	0,18	0,521	1	0	0,3	0,48
8b'	0,036	0,19	0,534	1	0	0,3	0,49
9b'	0,033	0,18	0,512	1	0	0,3	0,48
10b'	0,032	0,18	0,507	1	0	0,3	0,48
11b'	0,032	0,18	0,509	1	0	0,3	0,48
12b'	0,029	0,17	0,484	1	0	0,3	0,47
74b'	0,045	0,21	0,600	1	0	0,3	0,51
75b'	0,049	0,22	0,625	1	0	0,3	0,52
76b'	0,047	0,22	0,610	1	0	0,3	0,52
77b'	0,049	0,22	0,629	1	0	0,3	0,52
1c	0,037	0,19	0,542	1	0	0,3	0,49
2c	0,036	0,19	0,537	1	0	0,3	0,49
3c	0,036	0,19	0,537	1	0	0,3	0,49
4c	0,038	0,19	0,549	1	0	0,3	0,49
5c	0,041	0,20	0,572	1	0	0,3	0,50
6c	0,040	0,20	0,567	1	0	0,3	0,50

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
7c	0,040	0,20	0,564	1	0	0,3	0,50
8c	0,039	0,20	0,562	1	0	0,3	0,50
9c	0,055	0,23	0,664	1	0	0,3	0,53
10c	0,057	0,24	0,674	1	0	0,3	0,54
11c	0,063	0,25	0,712	1	0	0,3	0,55
12c	0,082	0,29	0,810	1	0	0,3	0,59
13c	0,067	0,26	0,734	1	0	0,3	0,56
14c	0,054	0,23	0,657	1	0	0,3	0,53
15c	0,025	0,16	0,451	1	0	0,3	0,46
16c	0,018	0,14	0,384	1	0	0,3	0,44
17c	0,015	0,12	0,342	1	0	0,3	0,42
18c	0,026	0,16	0,455	1	0	0,3	0,46
19c	0,016	0,12	0,353	1	0	0,3	0,42
20c	0,012	0,11	0,309	1	0	0,3	0,41
21c	0,010	0,10	0,285	1	0	0,3	0,40
22c	0,007	0,09	0,241	1	0	0,3	0,39
23c	0,006	0,08	0,224	1	0	0,3	0,38
24c	0,012	0,11	0,316	1	0	0,3	0,41
25c	0,011	0,10	0,291	1	0	0,3	0,40
26c	0,009	0,09	0,268	1	0	0,3	0,39
27c	0,011	0,11	0,299	1	0	0,3	0,41
24c'	0,012	0,11	0,316	1	0	0,3	0,41
25c'	0,007	0,09	0,244	1	0	0,3	0,39
26c'	0,006	0,08	0,224	1	0	0,3	0,38
27c'	0,004	0,07	0,185	1	0	0,3	0,37
1d	0,049	0,22	0,627	1	0	0,3	0,52
2d	0,032	0,18	0,509	1	0	0,3	0,48
3d	0,034	0,19	0,525	1	0	0,3	0,49
4d	0,036	0,19	0,536	1	0	0,3	0,49
5d	0,034	0,18	0,523	1	0	0,3	0,48
6d	0,038	0,19	0,549	1	0	0,3	0,49
7d	0,051	0,23	0,641	1	0	0,3	0,53
8d	0,050	0,22	0,630	1	0	0,3	0,52
9d	0,048	0,22	0,620	1	0	0,3	0,52
10d	0,046	0,22	0,610	1	0	0,3	0,52
11d	0,048	0,22	0,621	1	0	0,3	0,52

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
12d	0,050	0,22	0,630	1	0	0,3	0,52
13d	0,048	0,22	0,618	1	0	0,3	0,52
14d	0,046	0,21	0,607	1	0	0,3	0,51
15d	0,044	0,21	0,595	1	0	0,3	0,51
16d	0,046	0,21	0,605	1	0	0,3	0,51
17d	0,050	0,22	0,629	1	0	0,3	0,52
18d	0,047	0,22	0,613	1	0	0,3	0,52
19d	0,046	0,21	0,604	1	0	0,3	0,51
20d	0,049	0,22	0,628	1	0	0,3	0,52
21d	0,053	0,23	0,650	1	0	0,3	0,53
22d	0,051	0,22	0,636	1	0	0,3	0,52
23d	0,055	0,23	0,664	1	0	0,3	0,53
24d	0,046	0,22	0,610	1	0	0,3	0,52
25d	0,044	0,21	0,590	1	0	0,3	0,51
26d	0,037	0,19	0,546	1	0	0,3	0,49
27d	0,030	0,17	0,486	1	0	0,3	0,47
28d	0,037	0,19	0,544	1	0	0,3	0,49
29d	0,021	0,15	0,414	1	0	0,3	0,45
30d	0,019	0,14	0,386	1	0	0,3	0,44
31d	0,011	0,11	0,300	1	0	0,3	0,41
32d	0,011	0,10	0,294	1	0	0,3	0,40
33d	0,010	0,10	0,281	1	0	0,3	0,40
34d	0,008	0,09	0,260	1	0	0,3	0,39
35d	0,025	0,16	0,445	1	0	0,3	0,46
36d	0,024	0,15	0,436	1	0	0,3	0,45
37d	0,022	0,15	0,418	1	0	0,3	0,45
38d	0,022	0,15	0,423	1	0	0,3	0,45
39d	0,012	0,11	0,306	1	0	0,3	0,41
40d	0,008	0,09	0,246	1	0	0,3	0,39
1d'	0,032	0,18	0,502	1	0	0,3	0,48
2d'	0,021	0,14	0,407	1	0	0,3	0,44
3d'	0,022	0,15	0,420	1	0	0,3	0,45
4d'	0,023	0,15	0,429	1	0	0,3	0,45
5d'	0,022	0,15	0,419	1	0	0,3	0,45
6d'	0,024	0,16	0,440	1	0	0,3	0,46
7d'	0,033	0,18	0,513	1	0	0,3	0,48

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m <sup>2</sup> )	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
8d'	0,032	0,18	0,505	1	0	0,3	0,48
9d'	0,031	0,18	0,497	1	0	0,3	0,48
10d'	0,030	0,17	0,489	1	0	0,3	0,47
11d'	0,031	0,18	0,498	1	0	0,3	0,48
12d'	0,032	0,18	0,505	1	0	0,3	0,48
13d'	0,031	0,18	0,496	1	0	0,3	0,48
14d'	0,030	0,17	0,487	1	0	0,3	0,47
1e	0,023	0,15	0,426	1	0	0,3	0,45
2e	0,023	0,15	0,430	1	0	0,3	0,45
3e	0,023	0,15	0,427	1	0	0,3	0,45
4e	0,020	0,14	0,402	1	0	0,3	0,44
5e	0,017	0,13	0,366	1	0	0,3	0,43
6e	0,016	0,13	0,356	1	0	0,3	0,43
7e	0,008	0,09	0,250	1	0	0,3	0,39
8e	0,004	0,07	0,187	1	0	0,3	0,37
9e	0,005	0,07	0,204	1	0	0,3	0,37
10e	0,004	0,07	0,187	1	0	0,3	0,37
11e	0,047	0,22	0,612	1	0	0,3	0,52
12e	0,036	0,19	0,536	1	0	0,3	0,49
13e	0,046	0,22	0,608	1	0	0,3	0,52
14e	0,052	0,23	0,643	1	0	0,3	0,53
15e	0,062	0,25	0,707	1	0	0,3	0,55
16e	0,066	0,26	0,724	1	0	0,3	0,56
17e	0,049	0,22	0,627	1	0	0,3	0,52
18e	0,045	0,21	0,603	1	0	0,3	0,51
19e	0,045	0,21	0,602	1	0	0,3	0,51
20e	0,049	0,22	0,624	1	0	0,3	0,52
21e	0,047	0,22	0,616	1	0	0,3	0,52
22e	0,049	0,22	0,628	1	0	0,3	0,52
23e	0,041	0,20	0,572	1	0	0,3	0,50
24e	0,045	0,21	0,599	1	0	0,3	0,51
25e	0,042	0,20	0,578	1	0	0,3	0,50
26e	0,047	0,22	0,610	1	0	0,3	0,52
27e	0,042	0,20	0,577	1	0	0,3	0,50
28e	0,040	0,20	0,567	1	0	0,3	0,50
29e	0,016	0,13	0,357	1	0	0,3	0,43

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

<b>Acequia</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>y (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>S (%)</b>	<b>b (m)</b>	<b>B.L (m)</b>	<b>H (m)</b>
30e	0,019	0,14	0,391	1	0	0,3	0,44
31e	0,026	0,16	0,458	1	0	0,3	0,46
32e	0,025	0,16	0,448	1	0	0,3	0,46
33e	0,023	0,15	0,432	1	0	0,3	0,45
34e	0,029	0,17	0,478	1	0	0,3	0,47
35e	0,029	0,17	0,480	1	0	0,3	0,47
36e	0,026	0,16	0,453	1	0	0,3	0,46
37e	0,028	0,17	0,475	1	0	0,3	0,47
38e	0,028	0,17	0,469	1	0	0,3	0,47
39e	0,027	0,16	0,465	1	0	0,3	0,46
40e	0,026	0,16	0,457	1	0	0,3	0,46
41e	0,026	0,16	0,452	1	0	0,3	0,46
42e	0,027	0,16	0,463	1	0	0,3	0,46
43e	0,026	0,16	0,458	1	0	0,3	0,46
44e	0,027	0,16	0,462	1	0	0,3	0,46
45e	0,023	0,15	0,424	1	0	0,3	0,45
46e	0,017	0,13	0,364	1	0	0,3	0,43
47e	0,012	0,11	0,312	1	0	0,3	0,41
48e	0,012	0,11	0,304	1	0	0,3	0,41
49e	0,007	0,09	0,243	1	0	0,3	0,39
50e	0,004	0,07	0,186	1	0	0,3	0,37
1f	0,084	0,29	0,819	1	0	0,3	0,59
2f	0,031	0,18	0,500	1	0	0,3	0,48
3f	0,017	0,13	0,367	1	0	0,3	0,43
4f	0,016	0,13	0,354	1	0	0,3	0,43
5f	0,014	0,12	0,334	1	0	0,3	0,42
6f	0,007	0,08	0,231	1	0	0,3	0,38
7f	0,007	0,09	0,243	1	0	0,3	0,39
8f	0,007	0,08	0,232	1	0	0,3	0,38
9f	0,005	0,07	0,207	1	0	0,3	0,37
10f	0,006	0,08	0,220	1	0	0,3	0,38
11f	0,006	0,08	0,226	1	0	0,3	0,38
12f	0,007	0,08	0,237	1	0	0,3	0,38
13f	0,007	0,08	0,231	1	0	0,3	0,38
14f	0,007	0,08	0,233	1	0	0,3	0,38
15f	0,020	0,14	0,401	1	0	0,3	0,44

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

Acequia	A (m2)	y (m)	P (m)	S (%)	b (m)	B.L (m)	H (m)
16f	0,017	0,13	0,368	1	0	0,3	0,43
17f	0,053	0,23	0,649	1	0	0,3	0,53
18f	0,028	0,17	0,476	1	0	0,3	0,47
19f	0,038	0,20	0,553	1	0	0,3	0,50
20f	0,045	0,21	0,602	1	0	0,3	0,51
21f	0,048	0,22	0,621	1	0	0,3	0,52
22f	0,040	0,20	0,569	1	0	0,3	0,50
23f	0,006	0,07	0,210	1	0	0,3	0,37
24f	0,005	0,07	0,192	1	0	0,3	0,37
25f	0,026	0,16	0,454	1	0	0,3	0,46
26f	0,019	0,14	0,389	1	0	0,3	0,44
27f	0,022	0,15	0,420	1	0	0,3	0,45
28f	0,027	0,16	0,465	1	0	0,3	0,46
29f	0,048	0,22	0,617	1	0	0,3	0,52
30f	0,034	0,18	0,522	1	0	0,3	0,48
31f	0,038	0,19	0,549	1	0	0,3	0,49
32f	0,029	0,17	0,480	1	0	0,3	0,47
33f	0,024	0,16	0,443	1	0	0,3	0,46
34f	0,022	0,15	0,423	1	0	0,3	0,45
35f	0,020	0,14	0,398	1	0	0,3	0,44
36f	0,023	0,15	0,425	1	0	0,3	0,45
37f	0,024	0,15	0,436	1	0	0,3	0,45
38f	0,021	0,14	0,409	1	0	0,3	0,44
39f	0,012	0,11	0,309	1	0	0,3	0,41
40f	0,025	0,16	0,448	1	0	0,3	0,46
41f	0,025	0,16	0,451	1	0	0,3	0,46
42f	0,025	0,16	0,449	1	0	0,3	0,46
43f	0,030	0,17	0,492	1	0	0,3	0,47
44f	0,027	0,16	0,462	1	0	0,3	0,46
45f	0,030	0,17	0,491	1	0	0,3	0,47
46f	0,034	0,18	0,519	1	0	0,3	0,48
47f	0,038	0,19	0,549	1	0	0,3	0,49
48f	0,018	0,13	0,378	1	0	0,3	0,43
49f	0,013	0,11	0,317	1	0	0,3	0,41
50f	0,012	0,11	0,310	1	0	0,3	0,41
51f	0,010	0,10	0,276	1	0	0,3	0,40

Continuación cuadro A1.2 parámetros hidráulicos de las acequias de ladera.

<b>Acequia</b>	<b>A (m2)</b>	<b>y (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>S (%)</b>	<b>b (m)</b>	<b>B.L (m)</b>	<b>H (m)</b>
52f	0,010	0,10	0,277	1	0	0,3	0,40
53f	0,008	0,09	0,258	1	0	0,3	0,39
54f	0,029	0,17	0,484	1	0	0,3	0,47
55f	0,038	0,20	0,552	1	0	0,3	0,50
56f	0,020	0,14	0,399	1	0	0,3	0,44
57f	0,057	0,24	0,673	1	0	0,3	0,54
58f	0,058	0,24	0,678	1	0	0,3	0,54
59f	0,052	0,23	0,644	1	0	0,3	0,53
60f	0,043	0,21	0,586	1	0	0,3	0,51
61f	0,032	0,18	0,508	1	0	0,3	0,48
62f	0,028	0,17	0,477	1	0	0,3	0,47
63f	0,032	0,18	0,505	1	0	0,3	0,48
64f	0,029	0,17	0,479	1	0	0,3	0,47
65f	0,022	0,15	0,417	1	0	0,3	0,45
66f	0,019	0,14	0,391	1	0	0,3	0,44
67f	0,015	0,12	0,350	1	0	0,3	0,42

**ANEXO 2. Planos del lote.**

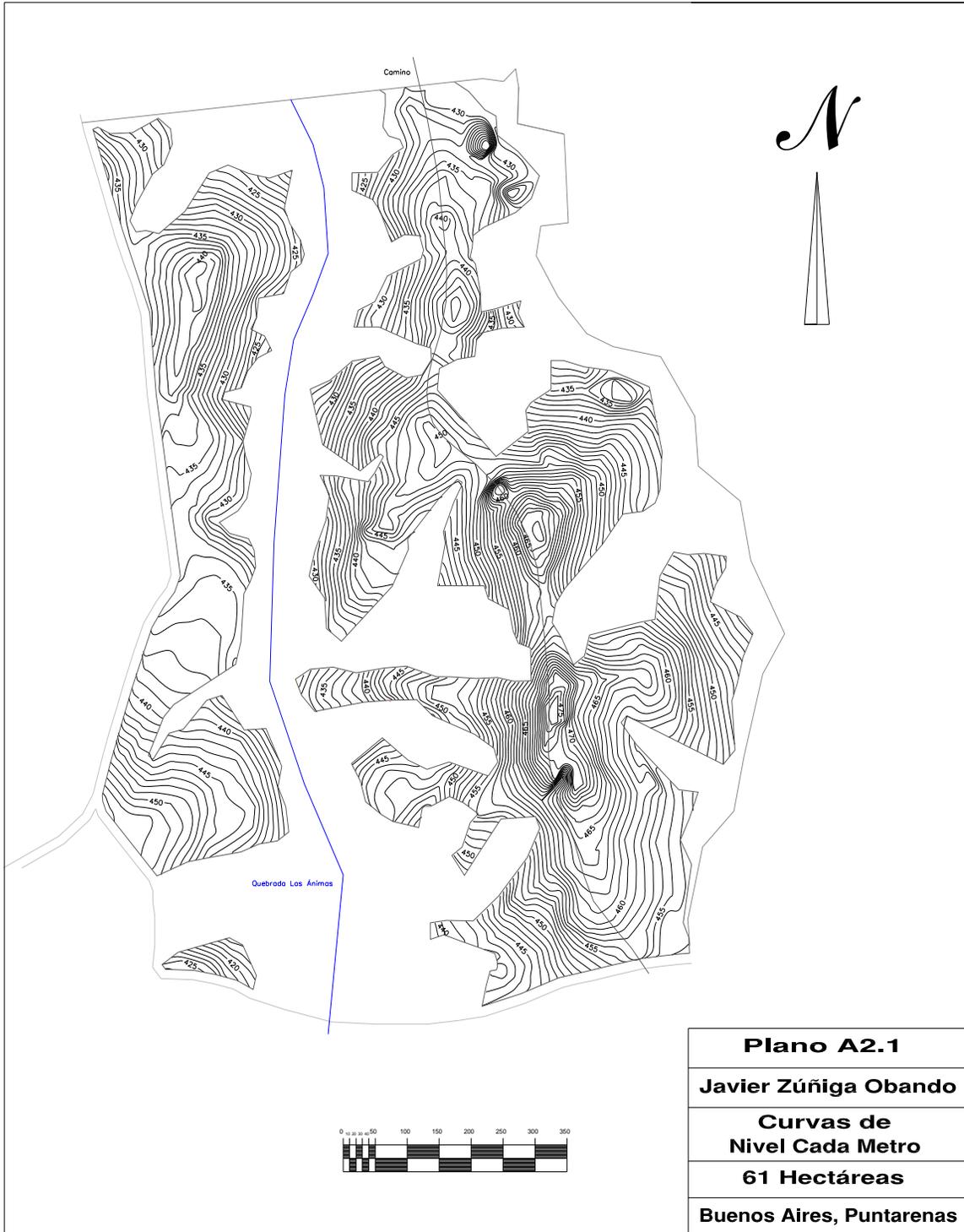


Figura A2. 1. Plano de curvas de nivel del área en estudio.

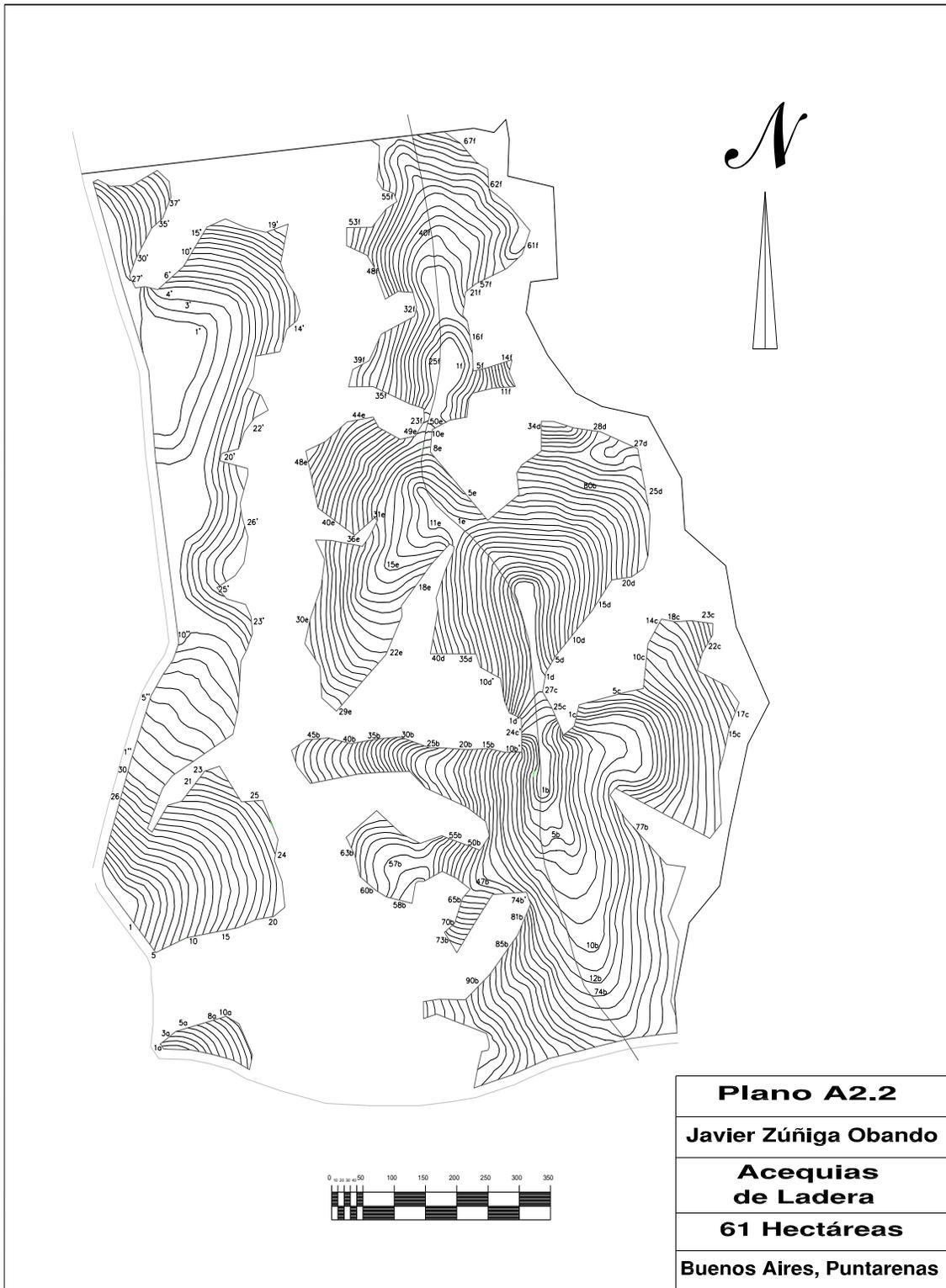


Figura A2. 2. Trazo de las acequias de ladera en el terreno.

### ANEXO 3. Recomendaciones y consideraciones para el diseño de canales.

Cuadro A3. 1. Velocidades máximas recomendadas para canales.

Tipo de material	Velocidad máxima (m/s)
Suelo arenoso muy suelto	0,30 – 0,45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0,45 – 0,60
Suelo arenosos promedio	0,60 – 0,75
Suelo franco arenoso	0,75 – 0,83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0,83 – 0,90
Césped de crecimiento ralo o débil	0,90
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0,90 - 1,20
Suelo con vegetación regular	1,22
Suelo arcilloso o cascajoso	1,20 – 1,50
Césped vigoroso, denso y permanente	1,52 – 1,83
Conglomerado, cascajo cementado, pizarra	1,80 – 2,40
Roca dura	3,00 – 4,50
Hormigón	4,50 – 6,00

Cuadro A3. 2. Pendientes recomendadas para distintos tipos de suelo.

<b>Tipos de suelo</b>	<b>Pendiente S (‰)</b>
Suelos sueltos	0.5 - 1.0
Suelos francos	1.5 - 2.5
Suelos arcillosos	3.0 - 4.5

Cuadro A3. 3. Anchos de solera recomendados según caudal.

<b>Caudal Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Solera b (m)</b>
Menor de 0.1	0.3
Entre 0.1 y 0.2	0.5
Entre 0.2 y 0.4	0.75
Mayor de 0.4	1

Cuadro A3. 4. Bordo libre recomendado según caudal a evacuar.

<b>Caudal Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Bordo Libre (m)</b>
Menores que 0.5	0.3
Mayores que 0.5	0.4

Cuadro A3. 5. Valores de n según condición del terreno.

<b>Condición del terreno</b>	<b>Valor de n</b>
Muy limpio	0,022 - 0,030
Limpio	0,029 - 0,050
Poca vegetación	0,040 - 0,067
Moderada vegetación	0,050 - 0,100
Exceso de vegetación	0,067 - 0,200

Cuadro A3. 6. Valores teóricos del coeficiente de Manning

<b>Material del canal</b>	<b>Valor de n</b>
Acrílico	0,009 - 0,112
Metal liso	0,01
Hormigón	0,013
Terreno natural en roca lisa	0,035
Terreno natural en tierra con poca vegetación	0,027

## ANEXO 4. Capacidad de uso de los suelos.

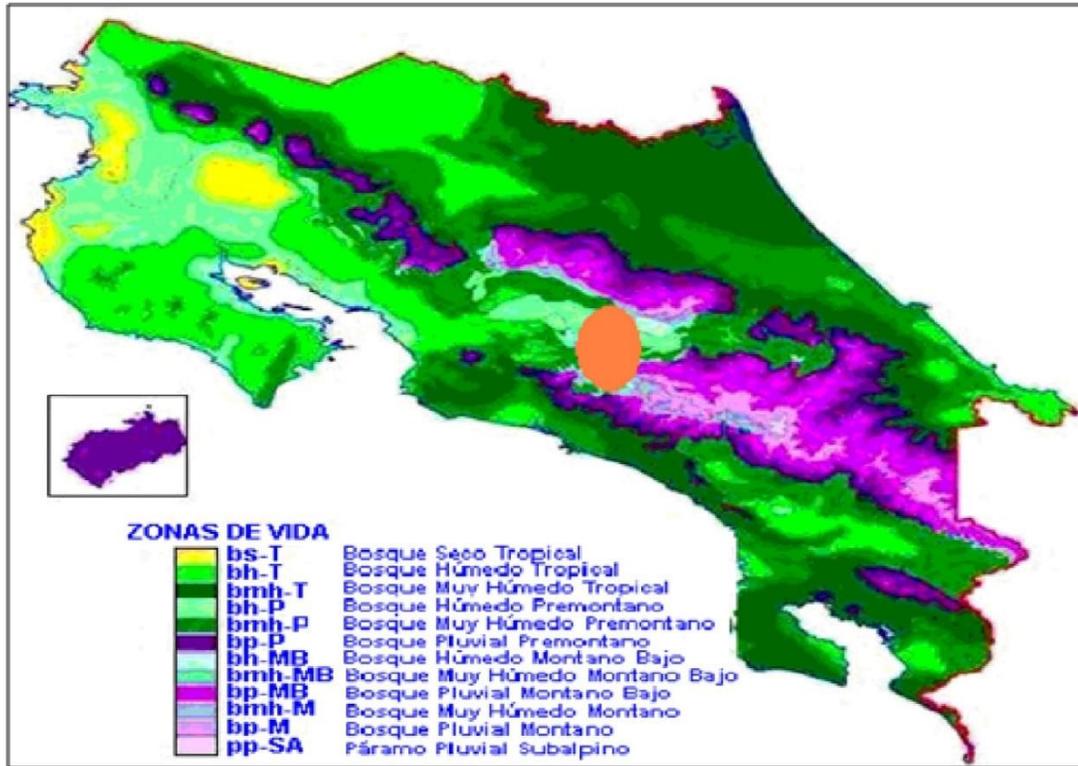


Figura A4. 1. Zonas de vida en Costa Rica.

Cuadro A4. 1. Parámetros para la determinación de la capacidad de uso de los suelos.

Clase	Erosión		Drenaje	
	Pendiente (%)	Erosión Sufrida	Drenaje	Riesgo Inundación
	$e_1$	$e_2$	$d_1$	$d_2$
<b>I</b>	< 3	<i>Nula</i>	<i>Bueno</i>	<i>Nulo</i>
<b>II</b>	< 8	<i>Nula a leve</i>	<i>Mod exces a mod lento</i>	<i>Nulo a leve</i>
<b>III</b>	< 3	<i>Nula a leve</i>	<i>Mod lento a lento</i>	<i>Nulo a Mod</i>
	< 15	<i>Nula a moderada</i>	<i>Mod exces a mod lento</i>	<i>Nulo a Mod</i>
<b>IV</b>	< 30	<i>Nula a moderada</i>	<i>Mod lento a Mod exces</i>	<i>Nulo a Mod</i>
<b>V</b>	< 15	<i>Nula a moderada</i>	<i>Muy lento a excesivo</i>	<i>Nulo a severo</i>
	< 30	<i>Nula a moderada</i>	<i>Muy lento a excesivo</i>	<i>Nulo a severo</i>
<b>VI</b>	< 50	<i>Nula a severa</i>	<i>Mod exces a mod lento</i>	<i>Nulo a Mod</i>
<b>VII</b>	< 75	<i>Nula a severa</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>
<b>VIII</b>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>

Continuación cuadro A4.1

Clase	Suelos					
	Profundidad Efectiva	Textura		Pedregosidad	Fertilidad	Toxicidad - Salinidad
		Suelo (0,30 cm)	Subsuelo (> 30 cm)			
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub> - S <sub>6</sub>
<b>I</b>	> 120	Media	Mod gruesas a Mod finas	Sin piedra	Alta	Leve - Leve
<b>II</b>	> 90	Mod Finas a Mod gruesas	Finas a Mod gruesas	Sin piedra a ligeramente pedregoso	Media a alta	Leve - Leve
<b>III</b>	> 90	Finas a muy finas	Finas a muy finas	Sin piedra a ligeramente pedregoso	Alta	Leve - Leve
	> 60	Finas a Mod gruesas	Finas a Mod gruesas	Sin piedra a mod pedregoso	Media a alta	Moderada - Leve
<b>IV</b>	> 60	Muy finas a Mod gruesas	Muy finas a Mod gruesas	Sin piedra a pedregoso	Media a alta	Moderada - Leve
<b>V</b>	> 30	Cualquiera	Cualquiera	Sin piedra a fuerte pedregoso	Cualquiera	Fuerte - Mod
	> 30	Mod gruesas a finas	Cualquiera	Sin piedra a fuerte pedregoso	Cualquiera	Fuerte - Mod
<b>VI</b>	> 60	Cualquiera	Cualquiera excepto gruesas	Sin piedra a fuerte pedregoso	Cualquiera	Fuerte - Mod
<b>VII</b>	> 30	Cualquiera	Cualquiera	Sin piedra a fuerte pedregoso	Cualquiera	Cualquiera
<b>VIII</b>	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Continuación cuadro A4.1

Clase	Clima				
	Profundidad Efectiva	Zona de vida	Periodo seco	Neblina	Viento
	S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
<b>I</b>	> 120	<i>bh-P / bh-T / bh-MB</i>	<i>Moderado</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente</i>
<b>II</b>	> 90	<i>Todas exc pluv y bmh</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a moderado</i>	<i>Ausente a moderado</i>
<b>III</b>	> 90	<i>bs-T / bh-P / bh-T</i>	<i>Fuerte</i>	<i>Ausente</i>	<i>Ausente a moderado</i>
	> 60	<i>Todas exc pluviales</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a moderado</i>	<i>Ausente a moderado</i>
<b>IV</b>	> 60	<i>Todas exc páramo, bmh-M, bp-M</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a moderado</i>	<i>Ausente a moderado</i>
<b>V</b>	> 30	<i>Todas exc páramo</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a fuerte</i>	<i>Ausente a fuerte</i>
	> 30	<i>Todas exc pluv y bmh-T</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a fuerte</i>	<i>Ausente a fuerte</i>
<b>VI</b>	> 60	<i>Todas exc páramo</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Ausente a moderado</i>	<i>Ausente a moderado</i>
<b>VII</b>	> 30	<i>Todas exc páramo</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>
<b>VIII</b>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Cualquiera</i>

Cuadro A4. 2. Concentración de bases y acidez para el lote en estudio.

<b>Acidez (cmol(+)/L)</b>	<b>Ca (cmol(+)/L)</b>	<b>Mg (cmol(+)/L)</b>	<b>K (cmol(+)/L)</b>
4,00	0,85	0,36	0,07

Cuadro A4. 3. Condiciones químicas del lote en estudio.

<b>% Saturación Acidez</b>	<b>Condición</b>	<b>% Saturación de Bases</b>	<b>Condición</b>
76	Tóxico	24	Baja fertilidad