

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGRÍCOLA**



**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUELOS Y AGUA,  
DEL SECTOR MITAPAMPA - ILLASAM - TINGUA, CON FINES DE  
DISEÑO DE RIEGO TECNIFICADO PARA EL CULTIVO DE  
ALFALFA**

**Presentado por:**

**ROGELIO JHON CARHUACHIN GAVINO**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**HUARAZ - PERÚ**

**MARZO 2014**



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de la Tesis presentada por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **ROGELIO JHON CARHUACHIN GAVINO**, denominada: "**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS Y AGUA, DEL SECTOR MITAPAMPA-IIASAM-TINGUA, CON FINES DE DISEÑO DE RIEGO TECNIFICADO PARA EL CULTIVO DE ALFALFA**".

Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADA

CON EL CALIFICATIVO (\*)

MUY BUENO

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el título de **INGENIERO AGRICOLA** de conformidad con la ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 20 de Marzo del 2014.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA  
PRESIDENTE

Ing. CÉSAR DANIEL MILLA VERGARA  
SECRETARIO

Ing. M.Sc. JAVIER ALBERTO COTOS VERA  
VOCAL

Ing. JOSÉ ALEJANDRO NARVÁEZ SOTO  
PATROCINADOR

(\*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis ésta debe ser calificada con términos de: SOBRESALIENTE, MUY BUENO, BUENO Y REGULAR.



## ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros de Jurado de Tesis que suscriben, nombrados por Resolución N° 098-2013-UNASAM-FCA/D, se reunieron para revisar el informe de Tesis, presentado por el Bachiller de Ciencias de la Ingeniería Agrícola ROGELIO JHON CARHUACHIN GAVINO, denominada: "CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS Y AGUA, DEL SECTOR MITAPAMPA-IIASAM-TINGUA, CON FINES DE DISEÑO DE RIEGO TECNIFICADO PARA EL CULTIVO DE ALFALFA", sustentada el 20 de Marzo del 2014, por resolución Decanatural N° 119-2014-UNASAM-FCA/D, lo declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 20 de Marzo del 2014.

Dr. TEÓFANES MEJÍA ANAYA  
PRESIDENTE



Ing. CÉSAR DANIEL MILLA VERGARA  
SECRETARIO

Ing. M.Sc. JAVIER ALBERTO COTOS VERA  
VOCAL

Ing. JOSÉ ALEJANDRO NARVÁEZ SOTO  
PATROCINADOR

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Ferrer Carhuachin Corpus y Ninfa Gavino Copertino , por sus consejos, sus valores y su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi caminar académico y de la vida; por creer en mí, brindándome su cariño en todo momento y por darme ejemplos dignos de superación y entrega.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Dios, por darme todo para lograr mis objetivos y estar conmigo en cada instante de mi vida.

A mis familiares y amigos, que participaron en forma directa o indirecta apoyándome en la elaboración de esta tesis.

A mis maestros, por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales.

A mis asesores, por orientarnos, brindándonos su valioso aporte en la realización de esta tesis; por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi vida profesional.

A mis jurados, por los consejos y apoyo en el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo.

A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” y en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias que me dio la oportunidad de formar parte de ella.

## LISTA DE CONTENIDO

Portada .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Lista de Contenidos .....	iv
Índice General.....	v
Índice de Tablas.....	.viii
Índice de Figuras .....	xi
Índice de Anexos.....	xiii
Índice de Planos.....	xiv
Índice de Fotografías .....	xv
Resumen.....	xvi

## INDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	01
1.1. ASPECTOS GENERALES	
1.1.1. Planteamiento del Problema .....	02
1.1.2. Variables.....	02
1.1.3. Hipótesis.....	02
1.1.4. Justificación.....	03
1.1.5. Importancia .....	03
1.1.6. Delimitación .....	04
1.1.7. Objetivos .....	04

### CAPÍTULO II

2.1. MARCO TEÓRICO	
2.1.1. Antecedentes .....	05
2.1.2. Revisión Bibliográfica	
2.1.2.1. Suelo.....	08
2.1.2.2. Importancia del Análisis de Suelo.....	09
2.1.2.3. Propiedades Físicas.....	10
2.1.2.4. El Agua y el Suelo.....	28
2.1.2.5. Propiedades Químicas.....	31
2.1.2.6. Materia Orgánica.....	41
2.1.2.7. Calidad de Agua.....	43
2.1.2.8. Alfalfa.....	47
2.1.2.9. Sistema de Riego Tecnificad.....	49
2.1.2.9. Sistema Agronómico.....	50
2.1.2.10. Sistema Hidráulico.....	55
2.1.3. Definición de términos.....	56
a) Acides del Suelo.....	56
b) Fertilidad del Suelo .....	56
c) Materia Orgánica.....	57

d) Meteorización.....	57
e) Perfil del Suelo.....	57
f) Profundidad Efectiva del Suelo .....	57
g) Reacción del Suelo .....	57
h) Suelo.....	57
i) Terrenos de Cultivo.....	57
j) Textura del Suelo .....	57
k) Uso del Suelo .....	57
l) Peso Específico.....	57
m) Humedad del Suelo .....	58
n) Salinización.....	58
o) Capilaridad.....	58
p) Porosidad.....	58
q) Suelo Homogéneo.....	58
r) Suelo Saturado.....	58

### **CAPÍTULO III**

#### **3.1. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.1. Tipo y diseño de Investigación .....	59
3.1.2. Diseño de Investigación.....	59
3.1.3. Método.....	59
3.1.4. Universo.....	59
3.1.5. Tamaño de Muestra .....	59
3.1.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	60

#### **3.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

3.2.1. Trabajo de Campo .....	60
3.2.2. Trabajo de Laboratorio .....	64
3.2.3. Trabajo de Gabinete.....	68

### **CAPÍTULO IV**

#### **4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.1. Resultados .....	71
4.1.2. Discusión.....	80



## **CAPÍTULO V**

### **5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.1. Conclusiones.....82

5.1.2. Recomendaciones..... 83

## **CAPÍTULO VI**

6.1. BIBLIOGRAFÍA..... 84

**ANEXOS..... 88**

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Clases Textuales.....	13
Tabla 2.2:	Tasa de Infiltración.....	24
Tabla 2.3:	Capacidad de Campo.....	30
Tabla 2.4:	Punto de Marchitez Permanente.....	30
Tabla 2.5:	Cultivo y Rango de pH.....	32
Tabla 2.6:	Clasificación del Suelo según su Conductividad eléctrica.....	38
Tabla 2.7:	Relación entre coloide y CIC.....	40
Tabla 2.8:	Relaciones entre Textura del Suelo y CIC.....	41
Tabla 2.9:	Categorías de Materia Orgánica.....	43
Tabla 2.10:	Valores de Análisis de muestra de agua.....	44
Tabla 2.11:	Clases de Conductividad (salinidad).....	46
Tabla 2.12:	Presencia de Sodio.....	46
Tabla 2.13:	Efectos del pH en Rendimiento de Forrajera en Toneladas.....	49
Tabla 2.14:	Niveles de Fertilidad.....	49
Tabla 2.15:	Valores de Kc herbáceos y hortícolas.....	52
Tabla 2.16:	Tiempo de riego promedio para humedecer hasta 1.0 m de profundidad en diferentes tipos de suelo.....	54
Tabla 3.1:	Lectura de Cilindro Infiltrómetro.....	64
Tabla 3.2:	Resultados del Método de Hidrómetro.....	65
Tabla 3.3:	Resultados del Método del Anillo.....	66
Tabla 4.1:	Propiedades Físicas de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04.....	72
Tabla 4.2:	Propiedades Físicas del Sector N°05.....	72
Tabla 4.3:	Propiedades Físicas del Sector N°06.....	72
Tabla 4.4:	Propiedades Físicas de los Sectores N°07, N° 08, y N° 09.....	73
Tabla 4.5:	Propiedades Químicas de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04.....	73
Tabla 4.6:	Cationes Cambiables de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04.....	73
Tabla 4.7:	Cationes Solubles de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04.....	73
Tabla 4.8:	Aniones de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04.....	74
Tabla 4.9:	Propiedades Químicas del Sector N°05.....	74
Tabla 4.10:	Cationes Cambiables del Sector N°05.....	74
Tabla 4.11:	Cationes Solubles del Sector N°05.....	74
Tabla 4.12:	Aniones del Sector N°05.....	74

Tabla 4.13: Propiedades Químicas del Sector N°06.....	75
Tabla 4.14: Cationes Cambiables del Sector N°06.....	75
Tabla 4.15: Cationes Solubles del Sector N°06.....	75
Tabla 4.16: Aniones del Sector N°06.....	75
Tabla 4.17: Propiedades Químicas de los Sectores N°07, N° 08, y N° 09.....	75
Tabla 4.18: Cationes Cambiables de los Sectores N°07, N° 08, y N° 09.....	76
Tabla 4.19: Cationes Solubles de los Sectores N°07, N° 08, y N° 09.....	76
Tabla 4.20: Aniones de los Sectores N°07, N° 08, y N° 09.....	76
Tabla 4.21: Propiedades Químicas del agua del Canal Mancos.....	77
Tabla 4.22: Propiedades Químicas del agua del Canal Santo Domingo.....	77
Tabla 6.1: Datos de Tensión y Humedad del Suelo Arcilloso.....	88
Tabla 6.2: Resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez del Suelo Arcilloso. .....	89
Tabla 6.3: Datos de Tensión y Humedad del Suelo Franco Arcilloso.....	89
Tabla 6.4: Resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez del Suelo Franco Arcilloso. ....	90
Tabla 6.5: Evaporación Potencial Mensual.....	91
Tabla 6.6: Datos de Precipitación.....	92
Tabla 6.7: Datos de Precipitación de la Estación Yungay.....	92
Tabla 6.8: Datos Generados para la Estación Mitapampa .....	93
Tabla 6.9: Calculo de la Precipitación al 75 % de Persistencia.....	93
Tabla 6.10: Precipitación al 75 % de Persistencia.....	93
Tabla 6.11: Precipitación Efectiva por el método USDA S.C.....	93
Tabla 6.12: Cedula de Cultivo.....	94
Tabla 6.13: Coeficiente de Cultivo.....	94
Tabla 6.14: Coeficiente de Cultivo Ponderado.....	94
Tabla 6.15: Calculo de Demanda de Agua.....	95
Tabla 6.16: Sección del Canal Mancos.....	96
Tabla 6.17: Velocidad de Flujo del Canal Mancos.....	96
Tabla 6.18: Calculo del Caudal del Canal Mancos.....	96
Tabla 6.19: Sección del Canal Santo Domingo.....	97
Tabla 6.20: Velocidad de Flujo del Canal Santo Domingo.....	97
Tabla 6.21: Calculo del Caudal del Canal Santo Domingo.....	97
Tabla 6.22: Datos de Lamina Infiltrada en el Suelo Arcilloso.....	98

Tabla 6.23: Datos de Lamina Infiltrada en el Suelo Franco Arcilloso.....	99
Tabla 6.24: Calculo de Presiones.....	108

## INDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1:	Triangulo de Textura .....	14
Figura. 2.2:	Génesis de la Estructura .....	16
Figura. 2.3:	Fuerzas de cohesión entre partículas de arena. F=fuerza de unión entre partículas esféricas; a= radio de las partículas; A=tensión superficial; $\theta$ =ángulo de contacto.....	17
Figura. 2.4:	Tipo de Estructura del Suelo y su Formación.....	19
Figura. 2.5:	Curva Típica de Tasa de Infiltración... ..	23
Figura. 2.6:	Curva Típica Infiltración Acumulada.....	23
Figura. 2.7:	Calificación de la densidad aparente.....	28
Figura. 2.8:	Detalle de la red de poros del suelo .....	28
Figura 2.9:	Absorción de nutrientes según el pH del suelo.....	32
Figura 2.10:	Origen de la acumulación de sales en el suelo. ....	34
Figura 2.11:	Potencial Osmótico.....	36
Figura 2.12:	Relación entre el PSI y la concentración de sales en el agua del suelo.....	37
Figura 2.13:	Comparación de Capacidad de Intercambio Cationico.....	40
Figura 2.14:	El contenido de Materia Orgánica del suelo es un equilibrio entre los aportes (entradas) y las perdidas por descomposición (salidas).....	42
Figura 2.15:	Riesgo de salinización del suelo según la conductividad eléctrica o el contenido total de sales del agua de riego.....	45
Figura 2.16:	Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soild Salinity Laboratory). ....	47
Figura 2.17:	Curvas real y teórica típicas de coeficiente de cultivo para especies anuales, según las diferentes fases de desarrollo.....	51
Figura 2.18:	Distribución y optimización del agua aplicada.....	55
Figura 3.1:	Sistema Físico.....	59
Figura 6.1:	Gráfico de Tensión vs Humedad del Suelo Arcilloso.....	88
Figura 6.2:	Gráfico de Tensión vs Humedad del Suelo Franco Arcilloso.....	89
Figura 6.3:	Gráfico de Tensión vs Humedad del Suelo Arcilloso y Franco Arcilloso... ..	90

Figura 6.4:	Gráfico de Altitud y Precipitación.....	92
Figura 6.5:	Gráfico Tiempo vs Lamina Acumulada en el Suelo Arcilloso.....	98
Figura 6.6:	Gráfico Tiempo vs Lamina Acumulada en el Suelo Franco Arcilloso.....	100

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 01:	Determinación de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez por el Método del Tensiómetro.....	88
Anexo 02:	Evaporación del Cultivo .....	91
Anexo 03:	Precipitación.....	92
Anexo 04:	Demanda de Agua.....	94
Anexo 05:	Oferta de Agua.....	96
Anexo 06:	Velocidad de Infiltración.....	98
Anexo 07:	Diseño Agronómico.....	101
Anexo 08:	Diseño Hidráulico.....	107
Anexo 09:	Fotos.....	109
Anexo 10:	Fotos.....	112

## INDICE DE PLANOS

Plano N° 01: Plano de ubicación (U-01).....	112
Plano N° 02: Plano topográfico (T-01).....	113
Plano N° 03: Tipo de Cultivo (C-01).....	114
Plano N° 04: Sectores (S-01).....	115
Plano N° 05: Tipo de Textura de Suelo (T-01).....	116
Plano N° 06: Diseño Hidráulico (H-01).....	117



## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01: Terrenos pertenecientes al Sector Mitapampa.....	109
Fotografía N° 02: Muestreo de suelo.....	109
Fotografía N° 03: Muestreo de agua del Canal Mancos .....	110
Fotografía N° 04: Cilindro Infiltrómetro.....	110
Fotografía N° 05: Tensiómetro de 60 cm Instalado en el Terreno.....	111

## RESUMEN

La inexistencia de información adecuada de los suelos y agua, hace difícil poder mejorar el riego, la producción y la productividad de un determinado lugar.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo caracterizar Física y Químicamente los suelos y aguas del sector MITAPAMPA-IIASAM.

La investigación consistió en realizar los trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En el trabajo de campo, se realizó el levantamiento topográfico, se tomó muestras de suelo y agua para ser llevadas al laboratorio, además se hicieron pruebas con el tensiómetro y medición de la velocidad de infiltración mediante cilindro infiltrometro. En el laboratorio se obtuvieron ciertas propiedades físicas de los suelos, también se obtuvieron las propiedades químicas del suelo y agua. En gabinete se procesó toda la información gráfica, elaborando el plano topográfico con Auto Cad Land; también se procesó la información recopilada del tensiómetro y del cilindro infiltrometro, para posteriormente realizar el procesamiento de los datos, y obtener la capacidad de campo y punto de marchites, así mismo la obtener la velocidad de infiltración.

Con todo esos datos se hizo el diseño de riego tecnificado para el cultivo de alfalfa.

Este trabajo permitió determinar las características Físicas y Químicas del suelo y agua, como Textura, Capacidad de Campo, pH del suelo, electro conductividad, etc. Además se realizó el diseño Agronómico e Hidráulico, todo esto para el cultivo de alfalfa.

Palabras clave: Caracterización, Diseño Agronómico, Diseño Hidráulico y Alfalfa.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El hombre desde las épocas más tempranas de su existencia viene aprovechando los diferentes recursos naturales que le brinda en forma espontánea la naturaleza. Sin embargo, de todos estos recursos es tal vez el suelo y agua sean los más importantes. Estos recursos, son base de la actividad agrícola, recobran singular interés, ante la escasez de tierras cultivables y agua para riego.

El IIASAM –TINGUA, es un centro de investigación y producción agropecuaria, que cuenta con terrenos dedicados en su mayoría a la producción de forrajes. Dentro de este centro, se encuentra el sector MITAPAMPA, que no cuenta con información adecuada de las características de los suelos y agua, que se utilizan para la producción de forrajes, además de no contar con un sistema de riego adecuado.

El trabajo: “CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUELOS Y AGUAS, CON FINES DE DISEÑO DE RIEGO TECNIFICADO PARA EL CULTIVO DE ALFALFA, EN EL SECTOR MITAPAMPA–IIASAM – TINGUA”, tiene como finalidad conocer las características de los suelos y agua pertenecientes a esta zona, para poder realizar mejoras en la producción de alfalfa.

Dentro del marco teórico, se realiza la revisión bibliográfica y se definen los términos que serán más utilizados en el presente trabajo, para tener un mejor conocimiento de los mismos.

Luego se detallan los materiales y equipos utilizados durante la recolección de datos en el trabajo de campo y gabinete, así como la metodología utilizada en el procesamiento de la información recopilada.

Posteriormente se obtiene las características de suelo y agua, además del diseño de riego tecnificado para el cultivo de alfalfa.

## **1.1. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Al concluir la presente investigación será posible responder la siguiente interrogante

#### **Problema General**

¿Cómo influyen las características Físicas y Químicas de Suelos y Aguas para el Diseño de Riego Tecnificado en el sector MITAPAMPA –IIASAM –TINGUA?

#### **Problemas Específicos**

- Cuáles serán las características físicas de los suelos y agua, que nos servirán para el diseño de Riego Tecnificado para el cultivo de alfalfa, en el sector MITAPAMPA –IIASAM –TINGUA.
- Cuáles serán las características químicas de los suelos y agua, que nos servirán para el diseño de Riego Tecnificado para el cultivo de alfalfa, en el sector MITAPAMPA –IIASAM –TINGUA.

### **1.1.2. VARIABLES**

#### **1.1.2.1 Variables independientes**

- Propiedades Físicas del suelo
- Propiedades Químicas del Suelo
- Propiedades Físicas del agua
- Propiedades Químicas del agua
- Alfalfa

#### **1.1.2.2 Variables dependientes**

- Diseño de riego tecnificado

### **1.1.3 HIPÓTESIS**

Una adecuada Caracterización Física y Química de Suelos y Aguas, permitirá el diseño del Sistema de Riego Tecnificado, para el cultivo de alfalfa, en el sector MITAPAMPA –IIASAM –TINGUA.

#### **1.1.4. JUSTIFICACIÓN**

El suelo es una estructura dinámica formada por materiales orgánicos y minerales. Se encuentra cubriendo la corteza terrestre. Sirve de soporte a las plantas y les proporciona los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo. El tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción calidad y tipo de cultivo y a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura. Sea cual sea el origen del agua debe de cumplir la calidad que se exige a una agua de riego natural y únicamente en ciertas situaciones o para ciertas producciones pueden variarse los márgenes establecidos, siempre que no afecte las propiedades del suelo.

En la actualidad el fundo del IIASAM-SECTOR MITAPAMPA ubicado en el distrito de Mancos provincia de Yungay no cuenta con un estudio de la caracterización de los suelos y agua, por lo que se desconoce sus propiedades físicas y químicos con fines de riego tecnificado; la agricultura que presenta el fundo poseen una información poco adecuada de la caracterización que se pretende realizar.

Viendo esta necesidad, se realiza esta investigación de caracterización de los suelos y agua del sector MITAPAMPA - IIASAM – TINGUA, que será útil para el diseño de riego tecnificado, que beneficiará para la mejora de la producción de alfalfa que será utilizado por el centro de investigación de Tingua a la cual pertenecen estos terrenos.

#### **1.1.5. IMPORTANCIA**

El estudio de las características físicas y químicas de los suelos y agua, con fines de diseño para riego tecnificado, es importante por la influencia que tiene para el suministro de cierta cantidad y calidad de agua a un cultivo, para que no afecte el rendimiento del suelo y cultivo.

También es importante para la el IIASAM y agricultores de la zona puesto que podrán conocer más a detalle el suelo y la calidad de agua hacen uso

en dicha zona. Y así poder mejorar la productividad de alfalfa y los demás cultivos adyacentes al área estudiada.

#### **1.1.6. DELIMITACIÓN**

- Objeto de estudio: Caracterización de Suelo y agua

- Ubicación:

Departamento: Ancash

Provincia: Yungay

Distrito: Mancos

Localidad: Mitapampa

#### **1.1.7. OBJETIVOS**

##### **1.1.7.1. Objetivo General.**

Diseñar el Sistema de Riego Tecnificado para el cultivo de alfalfa.

##### **1.1.7.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterización físicas de los suelos y aguas del sector MITAPAMPA-IIASAM – TINGUA, con fines de diseño de riego tecnificado en el cultivo de alfalfa
- Caracterización químicas de los suelos y aguas del sector MITAPAMPA-IIASAM – TINGUA, con fine de diseño de riego tecnificado en el cultivo de alfalfa.
- Diseño de riego tecnificado para el cultivo de alfalfa en el sector MITAPAMPA-IIASAM – TINGUA

## CAPÍTULO II

### 2.1. MARCO TEORICO

#### 2.1.1. ANTECEDENTES

- a) Jiménez Steer, I., Rodríguez Domínguez, L. (2008). **DIAGNÓSTICO DE LA INFILTRACIÓN Y PERMEABILIDAD EN LOS SUELOS DE LA ZONA DE RECARGA DEL ACUÍFERO MORROA EN EL ÁREA SINCELEJO, COROZAL Y MORROA. (TESIS).**

En la presente tesis se obtuvo los siguientes resultados:

La fracción dominante es la arena con % que oscilan entre 41.92% y 80.6%, se muestra que entre la fracción limo y arcillas no hay un dominante, presentándose % de limo que varían de 6.5% a 42.46% y % arcilla de 33.85% a 8.26%.

Estos valores varían de 1.29 gr/cm<sup>3</sup> en el primer estrato del Mamón valor bajo hasta 1.74 gr/cm<sup>3</sup> en el tercer estrato de Pileta, valor alto.

Los valores de densidad real oscilan entre 2.25 gr/cm<sup>3</sup> y 2.86gr/cm.

Los espacios porosos que presentan estos suelos oscilan entre 32.94% del tercer estrato del Liceo, clasificado como bajo y 56.99% en el segundo estrato del Liceo, calificado como alto.

Estos suelos presentan una capacidad de campo que varía desde 25.05% en el estrato 2 del Liceo y 37.53% en el primer estrato del Mamón.

Estos suelo presentan un Punto de Marchitez Permanente cuyos valores varían de 12.5% en el tercer estrato de Pileta y 16.51% en el primer estrato del Mamón.

Estos suelos poseen un porcentaje de agua aprovechable que varía de 12.02% en el estrato 2 del Liceo y 21.71% en el estrato 2 de Pileta.

La permeabilidad de estos suelos presenta valores hasta 4.075 cm/hr del tercer estrato de Las Tinajas.

**b) Reyes Mendoza, O. (2010). CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE LEÓN, EN BASE A SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN. EN EL PERIODO ABRIL 2009 A JUNIO 2010. (TESIS)**

En la presente tesis se obtuvo los siguientes resultados:

La densidad aparente promedio que presentan los suelos del departamento de León es de 1.1 gr/cm<sup>3</sup>.

Las texturas predominantes en el departamento de León son franco arenoso representando un 43%, franco arcilloso arenoso 43% y los suelos franco arcilloso solo ocupan un 14% del total de muestras.

En relación a la porosidad, los suelos del departamento de León poseen una cantidad de poros mayor del 55%.

El departamento de León presenta un promedio total del coeficiente de permeabilidad de 6.1 cm/h.

**c) Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN1973). ESTUDIO DE SUELOS DEL CALLEJÓN DE HUAYLAS (SEMIDETALLADO).**

En el estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

Textura franca a franco arenosa, con dotaciones de elemento grueso en forma sub angulosa hasta un 20% dentro de los primeros 40 cm. A partir de esta profundidad, en la generalidad de los casos, el material grueso, compuesto por gravas y piedras, alcanza proporciones que sobrepasan el 40%.



Las propiedades químicas de estos suelos señalan una reacción medianamente a moderadamente alcalina (pH 1 a 8.4), con carbonatos libres en la masa. El contenido de materia orgánica es de bajo a medio, con dotaciones de nitrógeno pobremente expresadas. El fósforo, normalmente se encuentra pobremente expresado, mientras que el potasio aparece en proporciones muy elevadas.

d) Douglas Mata R., Ildefonso Plasentis. (1991). **CARACTERIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD DE SUELOS Y AGUAS EN CUATRO ZONAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO.**

En la presente tesis se obtuvo los siguientes resultados:

**Sector Río Limón.**

1. El agua de riego usada presenta alta potencialidad de desarrollo de problemas de salinidad y principalmente de sodicidad, en condiciones de suelos con drenaje restringido.
2. Predominan suelos del tipo salino donde se registra influencia del agua de riego y de aportes extras de sales (cloruro de calcio) sobre la salinidad de los mismos.

**Sector Río Palmar.**

1. El agua de riego usada presenta una baja potencialidad de producción de problemas de salinidad y sodicidad, los cuales sólo se esperarían en condiciones de suelos con drenaje muy restringido.
2. Los suelos del sector son de los tipos salino y salino sódico, existiendo influencia importante de aportes extras de sales, principalmente de sulfato de sodio, sobre las características actuales de los mismos.

**Sector El Cenizo.**

1. El agua de riego usada muestra baja potencialidad de producción de problemas de sodificación.

2. Los suelos del sector son del tipo salino sódico, por influencia del uso del agua de riego y de aportes extras de sales, principalmente de sulfato de sodio.

### **Sector Costa Oriental.**

1. El agua de riego usada presenta muy baja potencialidad de producción de problemas de salinización y sodificación.
2. Se presentan suelos del tipo salino ácido a diferentes niveles, con influencia de sedimentos lacustrinos salobres y la cual es favorecida por el manejo de riego.

## **2.1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1.2.1. SUELO**

**López Antonio Jordán. (2005).** Refiere que: “En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1998), El suelo es un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos a la roca madre, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporta las plantas con raíces en un medio natural. Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas (es decir, que pueden soportar el crecimiento de raíces), las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2.5 m), materiales estériles, rocas o hielo. El límite inferior está constituido por la roca dura y continua. De manera arbitraria, la profundidad máxima del suelo se establece en 2 m.

De este modo, la visión del suelo como una intersección de atmósfera, litosfera, hidrosfera y biosfera ha dejado paso a un concepto de suelo como un subsistema de los ecosistemas terrestres.

Este concepto sistémico del suelo implica tres características fundamentales:

- **Complejidad:** El suelo está caracterizado por una atmósfera interna, una economía particular del agua, una flora y fauna determinada, unas Partículas minerales y unas partículas orgánicas, estando todos estos componentes fuertemente relacionados.
- **Dinamismo:** El suelo adquiere progresivamente sus propiedades por la acción combinada del medio. La roca madre se altera por influencia del clima y la vegetación; los residuos vegetales y animales son atacados por los microorganismos del suelo, forman complejos orgánicos coloidales que se denominan humus y que después se mineralizan progresivamente; se establecen uniones más o menos íntimas entre los minerales procedentes de la alteración de la roca y el humus; las sustancias solubilizadas y las partículas coloidales sufren migraciones. Así, al fin de su proceso evolutivo, el suelo da lugar a un medio estable y equilibrado con el clima, la vegetación y la roca madre. Sin embargo, este equilibrio puede romperse mediante una modificación apreciable del clima o la vegetación, comenzando un nuevo proceso de evolución.
- **Permeabilidad:** El suelo es un sistema abierto. Esta permeabilidad repercute en la mayor o menor facilidad de degradación

#### **2.1.2.2. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE SUELO**

**Roberto M. Alfonso (2012)** Refieren que: Actualmente el productor ha tomado conciencia de la importancia del suelo en el rendimiento de sus cultivos. Es por ello, que si quiere tener un suelo lo más cercano al suelo ideal para su zona, deberá hacer un análisis completo del mismo, tanto químico como físico, si fuera o fuese necesario.

El análisis deberá tener en cuenta el pH, la Conductividad Eléctrica, Carbono total, Nitrógeno total, Materia Orgánica, Bases de cambio (calcio, magnesio, potasio, sodio), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo extractable, nitratos, azufre y micronutrientes: hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno. Textura (arena, limo, arcilla). En función de la interpretación de dicho análisis, el profesional que lo asesora podrá no solo saber que nutrientes están en falta o en exceso, resultando antagónicos en algunos casos para la

absorción de otro nutriente disponible; sino que también podrá corregir los defectos de ese suelo (acidez o alcalinidad, compactación, exceso de sodio, etc.); mejorando la estructura del mismo, aumentando la porosidad y disponibilidad de nutrientes, corrigiendo el pH y/o eliminando el exceso de sodio y sales. Todo ello permitirá un mayor desarrollo de los microorganismos, lo que a lo largo del tiempo conducirá a un aumento del contenido de la materia orgánica en el perfil del suelo.

### **2.1.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS**

**L. Rucks., F. García., A. Kaplan., J. Ponce de León., M. Hill., (2004).** Refieren que: Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

#### **❖ TEXTURA DEL SUELO.**

**Flores Delgadillo Lourdes. (2009).** Refiere que: La textura del suelo es una de las características físicas más importantes, pues a través de ella, se puede predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes. La textura indica la proporción de partículas fundamentales en el suelo: arcilla, limo y arena, que se agrupan en suelos de textura fina, media y gruesa. Con la proporción relativa de estas fracciones minerales se puede obtener un gran número de combinaciones que dan origen a las clases texturales. Su fraccionamiento sigue una función logarítmica con límites entre 0.002 y 2.0 mm. La fracción arcillosa es menor a 0.002 mm, el limo entre

0.002 y 0.05 mm, y la arena entre 0.05 y 2.0 mm. Para estudios de tipo minera lógico la fracción arena se puede cuantificar en sus diferentes tamaños: a) arena muy fina, con diámetro de 0.05 a 0.1 mm; b) arena fina, con diámetro de 0.1 a 0.25 mm; c) arena media, con diámetro de 0.25 a 0.5 mm; d) arena gruesa, con diámetro de 0.5 a 1.0 mm; y e) arena muy gruesa, con diámetro de 1.0 a 2.0 mm.

Esta clasificación es la que utiliza la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) y el USDA, mientras que, la Sociedad Mundial de Suelos limita el limo a un diámetro que va de 0.002 a 0.02 mm. La determinación de la textura del suelo o análisis granulométrico consiste en la separación y cuantificación de las partículas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo, y en la consulta del triángulo de texturas para obtener la clase textural del mismo.

#### ➤ **Clasificación textural**

**López Antonio Jordán. (2005).**Refiere que: Los suelos están formados generalmente por más de una clase textural. Las tres fracciones suelen estar presentes en mayor o menor proporción. El porcentaje de cada una de esas fracciones es lo que se llama textura del suelo.

Las partículas del suelo pueden dividirse según su tamaño:

1. Gravas y piedras. Son partículas minerales sólidas, de diámetro comprendido entre 2 mm y 7 cm (gravas) o mayor (piedras). Cuando son muy abundantes, pueden afectar a las propiedades del suelo y dificultar su manejo.

2. Tierra fina. Esta fracción incluye las partículas menores de 2 mm de diámetro.

a.) Arena. Son partículas minerales sólidas de tamaño comprendido entre 2 mm y 0.02 mm. La arena es la fracción más grande del suelo, compuesta principalmente por granos de cuarzo más o menos meteorizados.

La arena no tiene capacidad de agregación, de modo que sus partículas no se unen entre sí y aparecen de manera individualizada. Debido a que una gran proporción de arena en el suelo origina poros numerosos y relativamente grandes. Los principales minerales que constituyen la arena son el cuarzo, los feldespatos, las micas, etc. Son visibles y se pueden observar individualmente. Tienen una relación superficie/volumen muy baja (aprox. 3). Su capacidad de intercambio catiónico es baja. Su principal función es la composición de la matriz del suelo.

b.) El limo es una clase de partículas minerales de tamaño comprendido entre 0.02 y 0.002 mm. El limo está constituido por partículas de tamaño medio-fino, como el talco. Su composición química es semejante a la de la arena.

Al igual que esta, el limo no tiene capacidad de agregación. Sus partículas no forman estructura. No sufren expansión ni contracción y su relación superficie/volumen es baja (300 – 3000m<sup>-1</sup>). Su capacidad de intercambio catiónico es baja.

c.) La arcilla es la fracción más pequeña. Mientras que la arena y el limo provienen del fraccionamiento físico de la roca, la arcilla proviene de la alteración química del material original. Por lo tanto, se diferencia mineralógicamente de las anteriores fracciones por estar compuesta por minerales originados por la meteorización, que no se encuentran en las rocas sin meteorizar. Las partículas de arcilla tienen capacidad de agregación y no se comportan como granos individuales en el suelo. Su tamaño es inferior a 2 µm y poseen unas propiedades físicas y químicas especiales. Su relación superficie/volumen es superior a 3000 m<sup>-1</sup>.

La Tabla 2.1 muestra algunas de las clasificaciones texturales más usadas en la actualidad: la propuesta por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (Int. Soil Science Society, ISSS), la clasificación del Sistema Internacional (IS) y la empleada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA).

**Tabla 2.1. Clases Texturales.**

Sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

USDA	$\phi$ ( $\mu\text{m}$ )
Arena muy gruesa	2000 - 1000
Arena gruesa	1000 - 500
Arena media	500 - 250
Arena fina	250 - 100
Arena muy fina	100 - 50
Limo grueso	50 - 20
Limo fino	20-2
Arcilla	< 2

Sistema de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS)

ISSS	$\phi$ ( $\mu\text{m}$ )
Arena gruesa	2000 - 200
Arena fina	200 - 50
Arena muy fina	50 - 20
Limo grueso	250 - 100
Limo fino	20-02
Arcilla	< 2

Sistema Internacional o de Atterburg

SISTEMA INTERNACIONAL	$\phi$ ( $\mu\text{m}$ )
Arena gruesa	2000 - 200
Arena fina	200-20
Limo	20-2
Arcilla	< 2

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

La grava y otros materiales de tamaño mayor que 2 mm no se consideran como parte del suelo a la hora de evaluar su textura u otros aspectos.

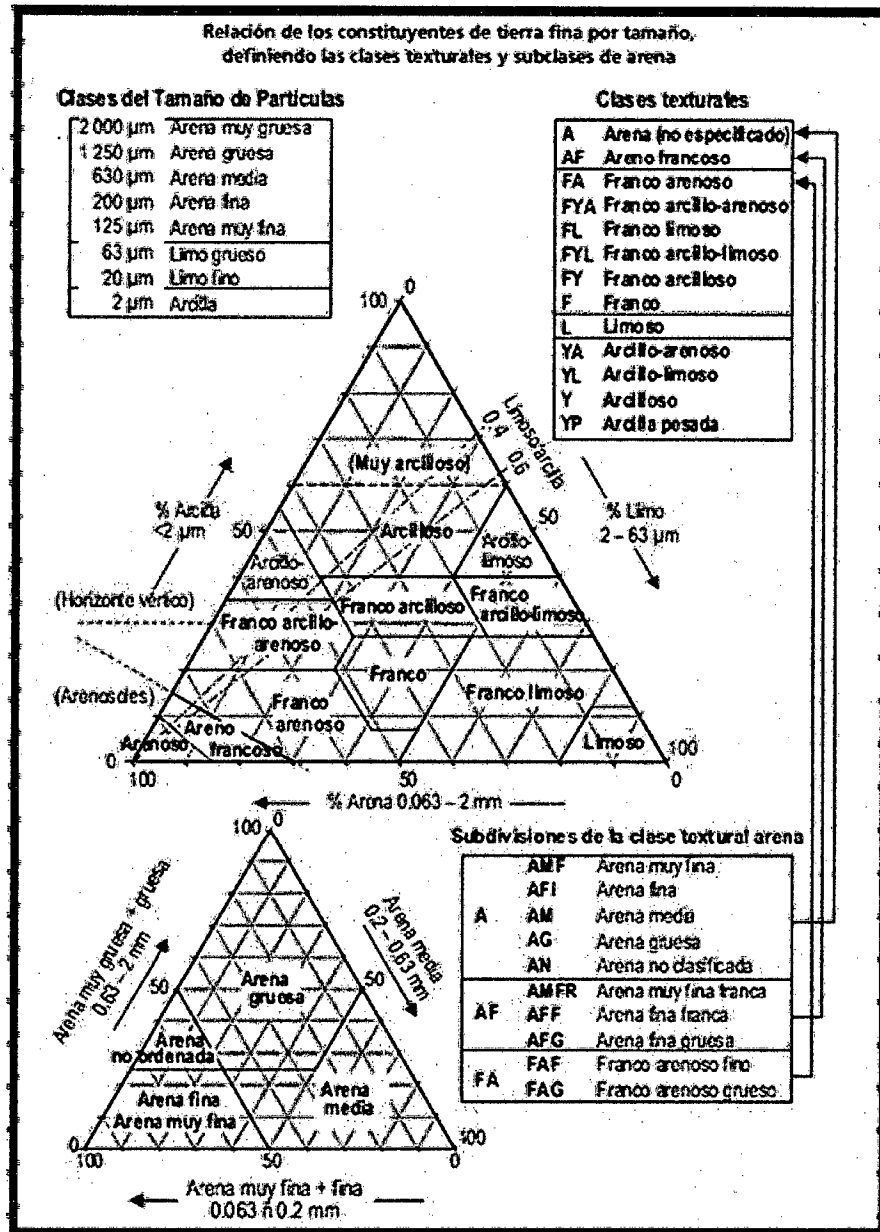
La textura se puede representar gráficamente mediante el diagrama textural (Figura 2.1). Un diagrama textural es un gráfico en forma de triángulo equilátero sobre cada uno de cuyos lados se representa el porcentaje de arena, limo y arcilla. De este modo es posible relacionar gráficamente diversas muestras de suelo.

Las partículas agrupadas en cada clase textural poseen características agronómicas semejantes.

Desde un punto de vista práctico, los suelos pueden agruparse en tres tipos distintos, según la clase textural predominante:

- 1) Suelos *pesados* (arcillosos).
- 2) Suelos *medios*.
- 3) Suelos *ligeros* (arenosos).

Por otro lado, los suelos que poseen una composición equilibrada de arena, limo y arcilla se conocen como suelos *francos* (una composición equilibrada no quiere decir un reparto equitativo entre las tres fracciones, tal y como se muestra en la Figura 2.1



**Figura 2.1 Triangulo de Textura**  
Fuente: Guía para la Descripción de Suelos, FAO (2009)

## ❖ ESTRUCTURA DEL SUELO

López Antonio Jordán. (2005). Refiere que: Para Porta la estructura es una propiedad típicamente edáfica, que, de presentarse, permite diferenciar



un suelo de un material geológico. Su importancia hace que sea una propiedad morfológica de referencia en los estudios del suelo en campo.

Algunos autores consideran que, más que una propiedad, la estructura es un estado del suelo, ya que cuando está seco, se pone de manifiesto, pero si está húmedo, el suelo se vuelve masivo, sin grietas, y la estructura no se manifiesta. La estructura, por lo tanto, puede definirse de manera simple como la disposición espacial de las partículas del suelo.

Según Porta, la estructura es el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de huecos que llevan asociado, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica.

Para Baver et al. (1973), la estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) y secundarias (agregados de partículas primarias) en ciertos modelos o patrones estructurales, lo que incluye también al espacio de poros asociado.

Según la definición aceptada por el USDA (1951), estructura es la agregación de partículas primarias de un suelo en partículas compuestas o grupos de partículas primarias separadas de los agregados adyacentes por superficies de debilidad.

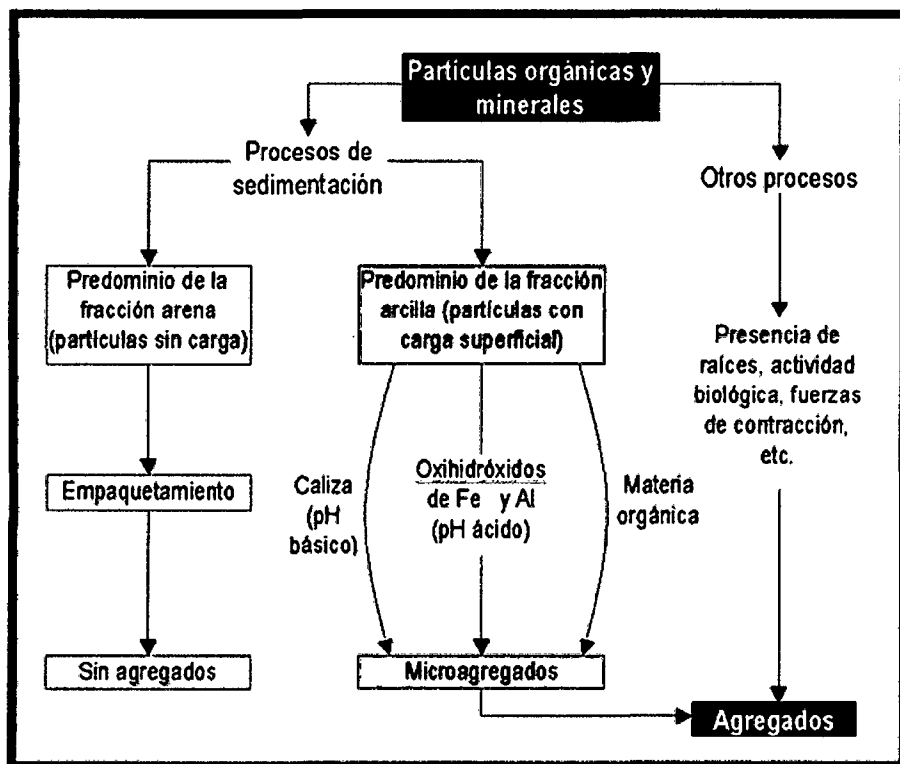
De este modo, suelos que presenten valores semejantes de textura, pueden presentar propiedades físicas muy distintas, según el tipo de estructura que se halle presente.

### ➤ **Génesis de la estructura**

La estructura del suelo es el resultado de su composición granulométrica, la actividad biológica y una serie de condiciones físico-químicas que permiten la aglomeración de las partículas (Figura 2.2).

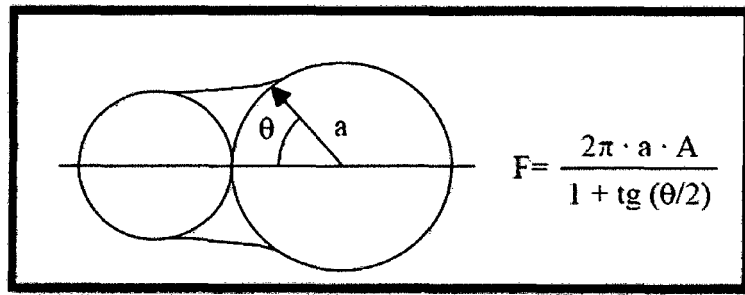
El predominio de unos u otros procesos origina los distintos tipos de estructura. En la formación de la estructura es muy importante la acción de los coloides (arcilla y materia orgánica) y las sustancias cementantes del suelo (carbonatos, sesquióxidos, etc.), que forman recubrimientos alrededor de las partículas más gruesas, englobándolas en grupos. Si no hay una proporción de coloides o sustancias cementantes suficiente, las partículas del suelo permanecen dispersas.

El grado de desarrollo de la estructura y la coherencia de los agregados depende del tipo de partículas presentes y de las fuerzas de atracción y/o repulsión que tengan lugar. Esto puede dar lugar a empaquetamiento de partículas o a la formación de agregados. El empaquetamiento es un proceso físico que tiene lugar entre partículas en las que las fuerzas de atracción / repulsión son despreciables por la ausencia de carga eléctrica, como ocurre entre los granos de arena. En los suelos arenosos pueden existir fuerzas de cohesión entre las partículas debido a la tensión superficial de la película de agua adsorbida en la superficie de los granos, lo que provoca una cierta capacidad de unión (Figura 2.3).



**Figura 2.2. Génesis de la Estructura.**

Fuente: Manual de Edafología (2005).



**Figura 2.3. Fuerzas de cohesión entre partículas de arena. F=fuerza de unión entre partículas esféricas; a= radio de las partículas; A=tensión superficial; θ=ángulo de contacto.**

Fuente: Manual de Edafología (2005).

Las fuerzas de unión por esta causa pueden explicar el menor riesgo de erosión eólica en suelos arenosos en estado húmedo que en estado seco.

La formación de agregados se inicia con la formación de unidades de fábrica o microagregados.

La presencia de partículas cargadas eléctricamente permite explicar la interacción entre las partículas del suelo y el agua o entre las partículas minerales y los grupos funcionales de la materia orgánica humificada.

Las fuerzas de mayor importancia en la estabilización de los microagregados se deben a los enlaces entre las arcillas y otros componentes del suelo:

- 1) El  $\text{CO}_3\text{Ca}$  actúa como un agente estabilizante. Favorece la floculación y precipita formando nódulos que incluyen a otras partículas.
- 2) Los sesquióxidos forman recubrimientos sobre las arcillas.
- 3) Los grupos funcionales de la materia orgánica humificada establecen puentes de hidrógeno con las arcillas.

Sin embargo, existe otro tipo de procesos que favorecen el desarrollo de los agregados, y tienen que ver con la actividad biológica:

- 1) La penetración de las raíces ensancha huecos preexistentes y deseca el suelo.
- 2) Los productos mucilaginosos secretados por microorganismos envuelven a las partículas del suelo formando microagregados.
- 3) Las lombrices remueven el suelo, contribuyendo a su estructuración, abriendo canales y favoreciendo la mezcla de materiales orgánicos y minerales.

### ➤ **Estabilidad de la estructura**

La estructura del suelo no es un parámetro estable, sino que puede variar en función de las condiciones climáticas, el manejo del suelo, los procesos edáficos, etc.

En general, las causas más importantes de la degradación de la estructura del suelo son las siguientes:

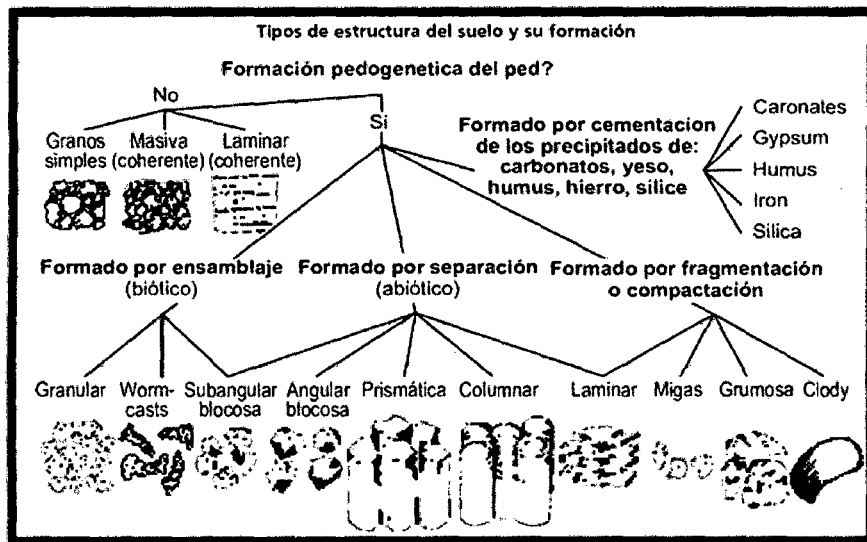
- 1) Expansión de las arcillas hinchables durante los períodos húmedos.
- 2) La lluvia, especialmente si es violenta y produce una dilución pasajera de los cationes que favorecen la floculación de los coloides.
- 3) La pérdida de materia orgánica.
- 4) La acidificación y/o descalcificación del suelo, que produce una desestabilización de los microagregados.

### ➤ **Clasificación de los tipos de estructura**

De un modo simple, los tipos de estructura que existen en el suelo pueden clasificarse en función de la presencia de partículas coloidales en el suelo y su interacción con las partículas de fracciones más gruesas. (Figura 2.4)

- 1) Si los coloides son escasos y predominan las fracciones más gruesas, sin capacidad de agregación, la estructura es particular de grano suelto.
- 2) Si la presencia de coloides es más elevada y se encuentran floculados, actúan como aglomerantes de las partículas más gruesas, formando grumos. En este tipo de estructura grumosa, los agregados son relativamente porosos, favoreciendo la aireación y la permeabilidad del suelo.
- 3) Si la presencia de partículas coloidales es muy importante, la estructura se vuelve asfijante, debido a la disminución del volumen de poros, lo que disminuye la aireación y drenaje. En la estación seca, la estructura se vuelve masiva y, si existen arcillas hinchables, aparecen grietas de retracción.

Sin embargo, desde un punto de vista morfológico, los agregados del suelo pueden clasificarse por su forma en varios grupos distintos.



**Figura 2.4. Tipo de Estructura del Suelo y su Formación**

Fuente: Guía para la Descripción de Suelos, FAO (2009)

El grado de desarrollo de la estructura se describe según los siguientes criterios:

1) Sin estructura.

a. Granos de arena sueltos, con muy poca presencia de partículas de las fracciones finas.

b. El suelo forma una estructura continua, maciza. No muestra fisuras o superficies de debilidad. Los fragmentos se rompen según la dirección de la fuerza que se aplique.

2) Suelo estructurado, formando agregados.

a. Grado de desarrollo débil. Las superficies de debilidad de los agregados están poco definidas. Cuando se separan los agregados siguiendo estas superficies de debilidad, cae abundante material suelto.

b. Grado de desarrollo moderado. Los agregados están bien diferenciados y poseen una duración moderada.

c. Grado de desarrollo fuerte. Los agregados están separados por superficies de debilidad bien definidas, de modo que cuando se separan no cae material suelto y vuelven a encajar entre sí perfectamente. Los agregados son duraderos y el nivel de organización es elevado.

### ➤ Vertisoles

Son suelos cuyo contenido en arcilla es superior al 30 %. al menos en los primeros 50 cm. Se trata de arcillas hinchables, que sufren grandes cambios de

volumen con las variaciones de humedad, lo que propicia que aparezcan en el suelo grietas verticales durante la estación seca, grietas que deben llegar hasta 50 cm de profundidad y tener al menos uno de espesor. Además, los vertisoles o bien presentan una estructura prismática muy fuerte, con las bases de los prismas inclinadas respecto de la horizontal, o bien recubrimientos de arcilla brillantes (*slic-kensides*), producidos por la fricción de los agregados. Son suelos muy pesados, difíciles de trabajar y con un tempero muy corto; por contra, retienen gran cantidad de agua y su contenido en bases es muy alto. El pH depende de la naturaleza del material original, aunque suele ser neutro o ligeramente alcalino. Durante el verano las grietas que los caracterizan están abiertas, y se van rellenando con el material de la superficie, mientras que en el invierno, al humedecerse el suelo, las arcillas absorben gran cantidad de agua y aumentan considerablemente su tamaño, creando grandes presiones en el interior del suelo.

La infiltración del agua en los Vertisoles secos (agrietados), con una superficie estructurada es inicialmente rápida. Sin embargo, una vez que la superficie del suelo se encuentra totalmente humedecida y las grietas se han cerrado, el índice de infiltración de agua se vuelve casi nulo.

Las condiciones ambientales que inducen a la formación de una estructura de un suelo vértico son:

1. La lluvia debe ser suficiente para permitir el intemperismo o alteración de los minerales, pero no tan alta para que percolen las bases que se desprenden con tal proceso.
2. Los periodos secos deben permitir la cristalización de los minerales de arcilla que se forman sobre las rocas o sedimentos intemperizados.
3. El drenaje debe estar impedido, de manera que la percolación y pérdidas de productos intemperizados se encuentre restringida.
4. Las altas temperaturas, promueven finalmente los procesos de intemperismo o alteración de los minerales primarios. Bajo tales condiciones, las arcillas

esmeclíticas pueden formarse en presencia de sílice y cationes básicos-especialmente:  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  si el pH del suelo es básico ( $> 7$ ).

#### ❖ INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO.

**Bolinaga Juan José (1999).** Refiere que: Infiltración es el nombre que se le da al proceso de penetración del agua en el perfil del suelo a través de la superficie en contacto con la atmosfera. La tasa de infiltración representa la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo. Algunos autores como Horton, definen esta tasa como la capacidad de infiltración o de absorción por el suelo. Cuando la fuente de agua (precipitación o riego) tiene una tasa de suplencia superior a la tasa de infiltración del suelo, se produce escurrimiento superficial el cual es indeseable, ya que representa perdida de agua y además es un agente erosivo. En el caso de riego, este proceso es controlable, pudiendo reducir o eliminar el escurrimiento superficial.

Existen numerosas formulas, algunas empíricas y otras con basamento teórico, que permiten expresar la tasa de infiltración como una función de parámetros físicos del suelo, condiciones iniciales de contenido de agua en el suelo y el tiempo. A continuación se indican algunas de estas formulaciones siguiendo la descripción y análisis realizados por Swartzen-druber y Youngs.

En estas ecuaciones se usara el termino  $I$  para denotar el volumen de infiltración acumulado y la letra  $i$  para designar la tasa de infiltración.

$$I = \int_0^t i dt$$

Las ecuaciones propuestas son las siguientes:

Green y Ampt (1911)

$$I = i_c + \frac{b}{I}$$

Kostiakov (1932)

$$i = Bt^{-n}$$

Horton (1940)

$$i = i_c + (i_0 - i_c)e^{-Kt}$$

Philip (1957)

$$i = i_c + \frac{S}{2t^{1/2}}$$

Holtan (1961)

$$i = i_c + a(M - I)^n$$

Donde  $b$ ,  $B$ ,  $n$ ,  $K$ ,  $S$ ,  $a$ ,  $M$  son parámetros que dependen del tipo de suelo y las condiciones iniciales de contenido de agua en el suelo, mientras que  $i_0$  representa la tasa de infiltración inicial cuando  $t$  es igual a cero e  $i_c$  es lo que se conoce como tasa de infiltración básica, la cual es una asíntota de  $i$ , ya que cuando  $t$  tiende a infinito  $i$  lo hace a  $i_c$ .

La ecuación de Kostiaikov (1932) tiene la desventaja de que cuando  $t$  es igual a cero,  $i$  es infinito y cuando  $t$  es infinito,  $i$  es cero. Físicamente existe una asíntota de la tasa de infiltración, ya que cuando el suelo alcanza la saturación (máximo contenido de agua), la infiltración continua siendo igual a la permeabilidad del suelo o conductividad hidráulica, la cual, generalmente, se designa con la letra  $K$ . Esta tasa de infiltración es lo que se conoce como infiltración gravitacional bajo condiciones de saturación.

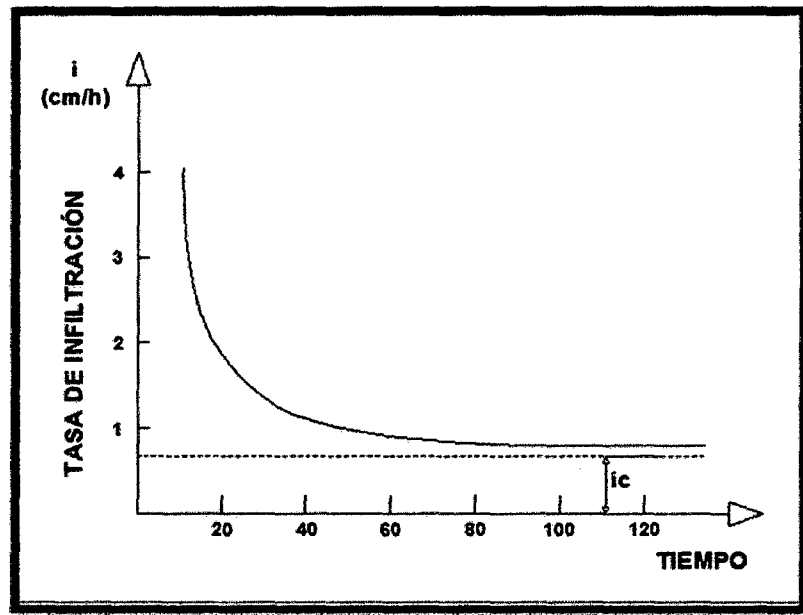
Las ecuaciones de Green y Ampt (1961) y la de Philip (1957) son soluciones basadas en teorías de infiltración muy bien fundamentadas desde un punto de vista físico, pero en su derivación se requiere que para  $t$  igual a cero exista saturación en la superficie del suelo, pues si no el valor de  $i_0$  sería infinito.

La ecuación de Horton (1940) y Holtan (1961) son empíricas y han sido seleccionadas con el fin de lograr un mejor ajuste a valores medidos de curvas de infiltración, y no tienen restricción en los valores iniciales de  $i$  para  $t$  igual a cero, y para su asíntota a  $t$  igual a infinito.

En general, lo que se hace en la práctica de riego es derivar la curva de infiltración acumulada de experimentos en campo, y luego se utiliza en forma

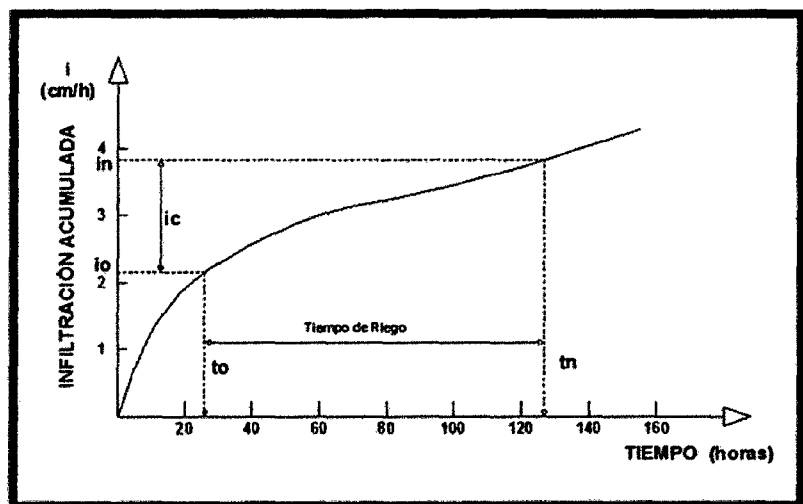


gráfica o se le ajusta una ecuación matemática similar las descritas anteriormente. En las Figuras 2.5 y 2.6 se indican en forma esquemática las curvas típicas de tasa de infiltración y de infiltración acumulada para un suelo determinado. Mediante el uso de la Figura 2.6, se introduce el concepto de tiempo de riego, el cual corresponde al tiempo mínimo requerido para que la lámina de riego, se infiltre en el suelo.



**Figura 2.5 Curva Típica de Tasa de Infiltración**

Fuente: Proyectos de Ingeniería Hidráulica Vol.2. (1999)



**Figura 2.6 Curva Típica Infiltración Acumulada**

Fuente: Proyectos de Ingeniería Hidráulica Vol.2. (1999)

Los valores de velocidad de infiltración varían según el tipo de textura como se muestra en la tabla 2.2

**Tabla 2.2 Tasa de Infiltración**

<b>TEXTURA DE SUELO</b>	<b>TASA DE INFILTRACION (cm/hr)</b>
Arenoso	5 (2.5 - 22.5)
Franco Arenoso	2.5 (1.3 - 7.5)
Franco	1.3 (0.8 - 2.0)
Franco Arcilloso	0.8 (0.25 - 1.5)
Arcilloso Arenoso	0.25 (0.03 - 0.5)
Arcilloso	0.5 (0.01 - 0.1)

Nota: Los números entre paréntesis son los intervalos normales, los intervalos de tasa de infiltración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructural, incluso, aún más de lo indicado en esta tabla.

Fuente: Proyectos de Ingeniería Hidráulica Vol.2. (1999)

#### ❖ POROSIDAD DEL SUELO

Rucks. L., García. F., Kaplán. A., Ponce de León. J., Hill. M., (2004). Refieren que: El crecimiento de las plantas, del que depende su producción económica, está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Estos últimos son físicos y químicos, siendo los primeros las propiedades del suelo que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo, están determinadas por las características cuantitativas cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso.

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aereación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las

características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo.

Debe hacerse hincapié en que cuando en la textura domina la fracción arcilla, en la porosidad total del suelo hay muchos más microporos que cuando domina la fracción arena. En este caso existe una gran cantidad de macroporos en el espacio poroso. Lo anterior se comprende claramente, si se piensa que entre las microscópicas partículas de arcilla los espacios son pequeños; en cambio entre las partículas de arena los poros son mayores.

En cuanto a la magnitud de la porosidad total, es mayor cuando en la textura dominan las fracciones finas que cuando dominan las gruesas. Los suelos arcillosos poseen más porosidad total que los arenosos.

#### ➤ Formas de expresión y determinación

La porosidad, se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros. O lo que es lo mismo, el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Supóngase que en  $10 \text{ cm}^3$  de suelo existen  $4,5 \text{ cm}^3$  no ocupados por sólidos. La porosidad total de este suelo será 45 por ciento.

La porosidad total se determina directamente, en muestras de suelo imperturbadas, es decir tal como están en el campo, sin ninguna deformación que altere la ubicación de las partículas sólidas, y por lo tanto los espacios que dejan entre ellas.

Otra forma de determinar la porosidad total de suelos, es a través de la determinación de sus densidades aparente y real. A continuación se las define:

#### 1.- Densidad aparente

Es la relación que existe entre el peso seco ( $105^\circ \text{ C}$ ) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo:

$$D. a = \frac{\text{Peso de muestra seco}(a)}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}(b) + \text{Volumen poroso de la muestra}(c)}$$

## 2.- Densidad real

Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo. En la muestra a la que se hizo referencia para definir la D.a., la densidad real sería:

$$D.r = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Volumen de los solidos de la muestra}}$$

Si se divide la D.a. por la D.r. se tiene:

$$\frac{D.a}{D.r} = \frac{\frac{a}{b} + c}{\frac{a}{b}} = \frac{b}{b + c} = \frac{\text{Volumen de Solidos}}{\text{Volumen total}}$$

Por lo tanto,  $(D.a. / D.r.) \cdot 100 =$  Volumen de sólidos por ciento; entonces,  
 $100 - (D.a. / D.r.) \cdot 100 =$  Volumen poroso por ciento es decir, que el porcentaje del volumen de la muestra ocupado por poros

$$P (\%) = 100 [1 - (D.a. / D.r.)]$$

La determinación de la densidad aparente se realiza en muestras imperturbadas, a estas muestras se les determina el peso seco a 105° C. Se cuenta entonces con los dos elementos necesarios para calcular la densidad aparente: el peso de los sólidos y el volumen que la muestra ocupaba en el campo, que incluye el de los sólidos y el espacio poroso. Existen otros métodos para determinar densidad aparente que no los analizaremos y también puede determinarse en agregados individuales obteniéndose en general valores superiores a cuando se determine en la masa del suelo dado que no tiene en cuenta la porosidad entre agregados.

En cuanto a la densidad real, varía evidentemente con la proporción de los elementos que constituyen el suelo, en tanto tienen diferentes densidades. El cuarzo 2,6 los feldespatos 2,7 la materia orgánica 1,5. En general, la densidad real de los suelos que no poseen cantidades anormales de minerales pesados, está alrededor de 2,65 si los contenidos de materia orgánica no superan a 1% (De Leenheer, 1967; De Boodt, 1965). Estos autores proponen reducir el valor 2,65 en 0,02 por cada 1% de aumento en el contenido de materia orgánica, hasta tenores de 5% de este componente del suelo. Para contenidos mayores

proponen determinar la densidad real directamente. A pesar de lo anterior, en los cálculos estándar se ha usado el valor 2,65.

La densidad real se determina obteniendo el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos de la muestra. Eso último se realiza con un aparato denominado picnómetro, y el procedimiento significa la aplicación del principio de Arquímedes. Es decir, determina que volumen de agua desplazan los sólidos al ser sumergidos.

### ➤ **Fraccionamiento de la porosidad**

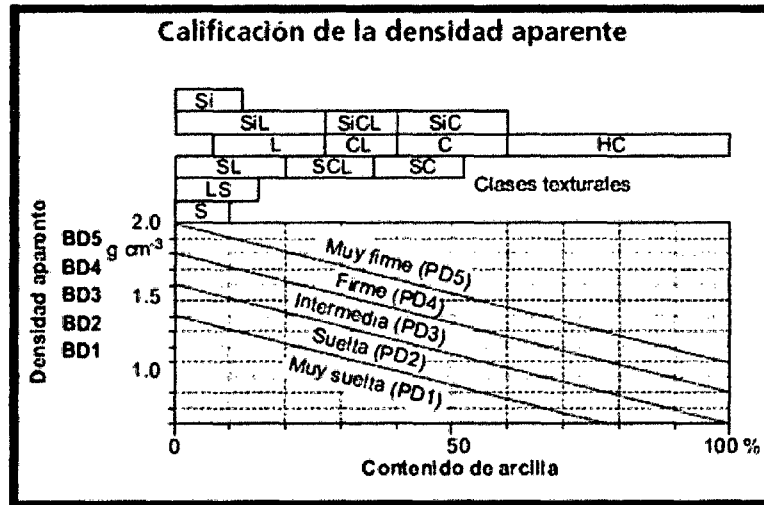
Se ha explicado cómo se determina la porosidad total del suelo. Interesa conocer cómo se distribuye esa porosidad en macroporos y microporos, debido a que cada una de estas fracciones de la porosidad total es responsable de diferentes factores de crecimiento de las plantas. La macroporosidad es responsable de la aereación y drenaje del suelo, además de ser el espacio en que se desarrollan las raíces, y parte de la microporosidad retiene el agua que dispondrán las plantas para su crecimiento, como ya se mencionó.

Normalmente se determina la macroporosidad, saturando de agua una muestra imperturbada similar a las que se utilizan para determinar porosidad total y densidad aparente, y dejando que pierda toda el agua que no es capaz de retener contra la fuerza gravitatoria. La muestra se pesa saturada y luego que dejó de drenar agua, y la diferencia entre esos pesos se toma como la cantidad de  $\text{cm}^3$  de agua que ocupaban los macroporos de la muestra. La macroporosidad, también se expresa como porcentaje del volumen de suelo en que se encuentra. Durante todo el proceso se evitan pérdidas de agua por evaporación, trabajando en una atmósfera saturada.

Para acelerar la pérdida del agua no retenida, suele aplicarse presión a la muestra por medio de aparatos especiales. La presión aplicada no elimina de la muestra más que el agua no retenida contra la gravedad.

La microporosidad se puede determinar por diferencia entre la porosidad total (determinada por alguno de los procedimientos ya descritos) y la

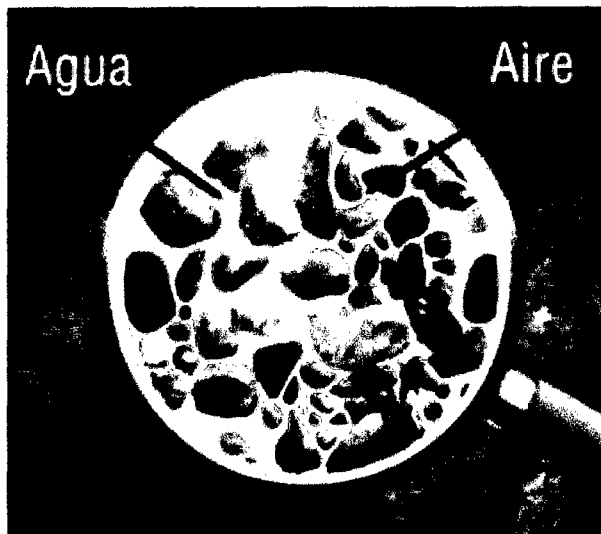
macroporosidad, o directamente. Para hacerlo de esta forma, se pesa la muestra una vez que perdió el agua que ocupaba los macroporos y luego de ser secada a 105 °C. La diferencia entre estos dos pesos es el volumen de agua que ocupaba los microporos, expresado en cm<sup>3</sup>. El volumen de microporos también se expresa como porcentaje del volumen de la muestra en la que se encontraron.



**Figura 2.7. Calificación de la Densidad Aparente**  
Fuente: Guía para la Descripción de Suelos, FAO (2009)

#### 2.1.2.4. EL AGUA Y EL SUELO

**Proyecto de Autogestión del Agua en la Agricultura, (2005).** Refiere que: En esencia, el suelo es un entramado de partículas minerales. Pero estas partículas no están empaquetadas formando una masa compacta, sino que entre ellas existe una intrincada red de poros y canales (canaliculos) por los que circula el aire y el agua.



**Figura 2.8. Detalle de la Red de Poros del Suelo**  
Fuente: Proyectos de Autogestión del Agua en la Agricultura. (2005)

### ❖ **Capacidad del suelo para almacenar agua**

En la mayoría de los suelos, la red de canalículos ocupa un volumen que oscila entre 30-50% del total. De todos los poros o canalículos, los de mayor diámetro permiten un paso rápido del agua y sólo los menores son capaces de retener y almacenar agua. En un suelo determinado, el porcentaje total de poros y su tamaño va a depender de la textura y estructura.

Para la actividad agrícola sería ideal tener un suelo equilibrado, fácil de trabajar, permeable y con buena capacidad de acumulación de agua. Esto es lo que técnicamente se conoce como *suelo franco* que, desde el punto de vista de su textura, contendría entre 30-50% de arena, 30-50% de limo y 20-30% de arcilla. Un suelo de estas características sería capaz de almacenar unos 300 litros de agua por metro cuadrado de superficie y metro de profundidad. Aunque, como se verá más adelante, toda esta agua no estaría enteramente a disposición de las plantas.

Al cambiar las proporciones de arena, limo y arcilla cambia también la denominación técnica del suelo y su capacidad para retener agua y de ponerla a disposición de las plantas. Se habla así de suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo-arenosos, franco-arenosos, franco-arcillosos, etc.

### ❖ **Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas**

Del volumen total de agua que puede almacenar un suelo, no todo está disponible para las plantas y, del que está disponible, no todo se puede absorber con igual facilidad. Así, se definen los siguientes conceptos:

1. **Capacidad de campo.** Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La capacidad de campo viene a reflejar el agua que el suelo retiene en los canalículos pequeños, después de que los más grandes se hayan llenado de aire. Cuando un suelo está *a capacidad de campo* la presión

necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0,3 atmósferas.

2. **Punto de marchitez permanente.** Es el contenido de agua de un suelo a partir del cual las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. La presión necesaria para comenzar a extraer el agua que contiene un suelo en su punto de marchitez es de 15 atmósferas.

De forma general, el punto de marchitez es igual al 56% de la capacidad de campo.

3. **Agua útil para las plantas.** Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez.

**Tabla 2.3 Capacidad de Campo**

TEXTURA SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO
Arenoso	9%
Arenoso-franco	14%
Franco arenoso-limoso	23%
Franco arenoso + materia orgánica	29%
Franco	34%
Franco-arcilloso	30%
Arcilloso	48%
Arcilloso con buena estructura	50%

Fuente: <http://info.elriego.com/humedad-en-el-suelo-capacidad-de-campo-punto-de-marchitez-y-agua-util-en-funcion-del-tipo-de-suelo/>.

**Tabla 2.4 Punto de Marchitez Permanente**

TEXTURA SUELO	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (%)
Arenoso	4 (2-6)
Franco - Arenoso	6 (4-8)
Franco	10 (8 - 12)
Franco Arcilloso	13 (11 - 15)
Arcillo Arenoso	15 (13 - 17)
Arcilloso	17 (15 - 19)

Nota: Los números entre paréntesis son los intervalos normales  
Fuente: Proyectos de Ingeniería Hidráulica Vol.2. (1999)



**4. Agua fácilmente utilizable por las plantas.** Parte del agua útil que las plantas pueden absorber con poco esfuerzo (0,5-1 atmósferas) y, por tanto, sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta. En agricultura se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50% del agua útil y para los más sensibles entre 25-30%.

- Las tierras ligeras (arenosas) son poco productivas, no necesitan mucha lluvia.

- Las tierras pesadas (arcillosas) son más productivas pero necesitan mojarse bien en invierno para guardar humedad y poder aguantar períodos prolongados sin lluvia. Sin embargo, con lluvias escasas dan malas cosechas.

- Las tierras medias (francas) son las más seguras produciendo ya que se adaptan mejor a las lluvias irregulares.

#### **2.1.2.5. PROPIEDADES QUÍMICAS**

##### **❖ PH DEL SUELO**

**Manejo de Fertilidad de Suelos. (2011).**Refiere que: El pH o reacción del suelo tiene una influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y la actividad microbiana. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3.5 a 9, la razón por la que no alcanza valores extremos de 0 ó 14 se debe a que la solución suelo no es una solución verdadera sino que constituye una solución coloidal.

A la mayoría de los cultivos les favorece rangos de pH de 5 a 7.5. Sin embargo cada especie se acoge o desarrolla mejor dentro de un determinado rango. Los suelos fuertemente ácidos son indeseables por los niveles tóxicos de Al y la disminución de la actividad microbiana. Los suelos fuertemente alcalinos originan una escasa disponibilidad de elementos menores; excepto el Molibdeno, Fe, Zn, Mn y P son muy dependientes del pH, por lo que a niveles extremos pueden presentarse en niveles deficientes.



**Figura 2.9 Absorción de Nutrientes según el pH del Suelo**  
Fuente: Manejo de Fertilidad de Suelos. (2011)

**Tabla 2.5 Cultivo y rango de pH**

CULTIVO	RANGO pH	CULTIVO	RANGO pH
Alfalfa	6.2 - 7.8	Pepino	5.6 - 7.3
Esparrago	6.2 - 7.8	Melón	5.6 - 7.3
Coliflor	5.8 - 7.3	Calabaza	5.4 - 6.8
Lechuga	6.2 - 7.3	Pimiento	5.2 - 6.8
Espinaca	6.2 - 7.8	Nabo	5.2 - 6.8
Trébol	5.5 - 7.5	Tomate	5.2 - 6.7
Col	5.5 - 7.2	Berenjena	5.2 - 6.0
Zanahoria	5.7 - 7.0	Membrillo	5.6 - 7.2
Cebada	6.0 - 8.0	Peral	5.3 - 7.2
Dáctilo	5.6 - 7.5	Manzano	5.1 - 6.8
Trigo	6.0 - 7.5	Vid	6.0 - 7.5
Maíz	6.0 - 7.0	Melocotón	5.0 - 6.8
Soya	5.0 - 7.5	Fresa	4.7 - 6.2
Avena	5.0 - 7.5	Arroz	5.0 - 6.5
Centeno	5.0 - 7.2	Habas	5.5 - 7.5
Agrostis	5.0 - 6.8	Pallar	6.0 - 7.0
Tabaco	5.0 - 7.5	Arveja	6.0 - 7.5
Papa	5.0 - 7.0	Acelga	6.0 - 7.5
Apio	6.0 - 7.5	Camote	5.8 - 7.0
Rábano	6.0 - 7.4	Caña de Azúcar	5.5 - 8.0
Cebolla	6.0 - 7.4	Piña	5.0 - 6.0
Coliflor	5.7 - 7.3		
Brócoli	5.7 - 7.3		

Fuente: Manual de Fertilidad de Suelos. (2011)

## ❖ SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

### ➤ Salinidad y Sodicidad del suelo

López Antonio Jordán. (2005). Refiere que: Bajo determinadas condiciones, en el suelo pueden acumularse sales solubles, lo que interfiere en el crecimiento de las plantas. Aunque siempre existe una determinada concentración de sales en el suelo, cuando se produce esta interferencia se habla de suelos salinos.

De modo general, se distinguen dos tipos de suelos salinos, dependiendo del catión dominante en el complejo de cambio.

- 1) **Suelos salinos en sentido estricto o suelos halomorfos.** Si el catión predominante es el  $Ca^{2+}$ , las sales solubles son muy abundantes en el suelo. El perfil se encuentra muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, debido al poder floculante del calcio sobre los coloides del suelo. La elevada concentración de sales en el suelo origina un gradiente osmótico que dificulta la absorción de agua por las raíces de la planta, lo que tiene como consecuencia un descenso de la productividad. El pH de los suelos salinos es 8.5 o menor. Se puede ver una capa blanca en la superficie del suelo debida a la acumulación de sales por medio de la elevación capilar.
- 2) **Suelos sódicos.** Cuando el  $Na^{+}$  es el catión dominante se favorece la dispersión de las arcillas. De este modo, el grado de desarrollo de la estructura es bajo. Por otra parte, la hidrólisis de las arcillas sódicas conduce a la alcalinización del perfil, y esta provoca intensa alteración mineral. El valor de pH oscila entre 8.5 y 10.0. Los suelos sódicos tienen pequeñas cantidades de las sales que se encuentran en los suelos salinos, pero tienen un alto contenido en sodio. En los suelos sódicos, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es superior al 15%. A menudo, además del PSI se utiliza el porcentaje de adsorción de sodio (PAS), que compara la concentración de iones de calcio y magnesio con el sodio en el complejo de cambio:

$$PAS = \frac{Na^{+}}{\frac{\sqrt{Mg^{2+} + Ca^{2+}}}{2}}$$

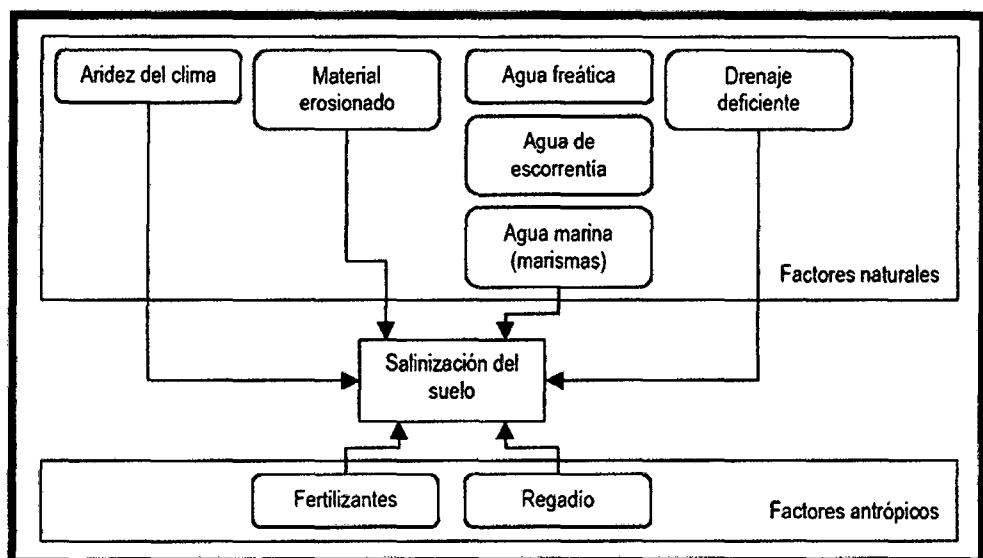
En los suelos sódicos, este valor se halla por encima de 13.

- 3) **Suelos salino-sódicos.** Se trata de suelos con altos niveles de sales y sodio. El PAS es superior a 13 y el pH menor de 8.5. La estructura no se halla degradada. Sin embargo, en épocas de fuertes lluvias o bajo riego con agua muy pobre en sales, al calcio y magnesio soluble pueden lavarse, produciéndose un enriquecimiento diferencial en sodio. En esas condiciones, el suelo puede volverse sódico.

#### ➤ Origen de las sales solubles

El estudio del ciclo de los elementos químicos permite identificar la procedencia de las sales que se acumulan en los suelos. La acumulación no se produce necesariamente *in situ*, sino que puede deberse a procesos de redistribución y acumulación posteriores a su génesis.

La acumulación de sales solubles en el suelo está condicionada por factores litológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos y antrópicos (Figura 2.10). Además, el manejo inadecuado del suelo puede dar lugar la concentración de sales. La salinización por causas antrópicas ocurre normalmente por el empleo de fertilizantes inadecuados, el riego con agua de mala calidad o en condiciones inadecuadas, o bien como resultado de la actividad industrial y minera.



**Figura 2.10. Origen de la Acumulación de Sales en el Suelo.**

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

Las sales pueden encontrarse en el suelo de varias formas: precipitadas, en solución o retenidas en el complejo de cambio (adsorbidas).

### ➤ **Efectos de la salinidad y sodicidad sobre el crecimiento de las plantas**

En medios salinos, el crecimiento de las plantas se ve afectado desfavorablemente. En las plantas no adaptadas a los medios salinos, la presencia de sales provoca una inhibición general del crecimiento. De manera detallada, los síntomas que puede ofrecer la planta son los siguientes:

- 1) Retardo en la nascencia.
- 2) Menor área foliar y crecimiento lento o incompleto.
- 3) Menor producción de materia seca.
- 4) Necrosis en las hojas.
- 5) Hojas de color verde más oscuro que en plantas normales.
- 6) Disminución del rendimiento del cultivo.
- 7) En condiciones extremas, muerte antes de completar el desarrollo.

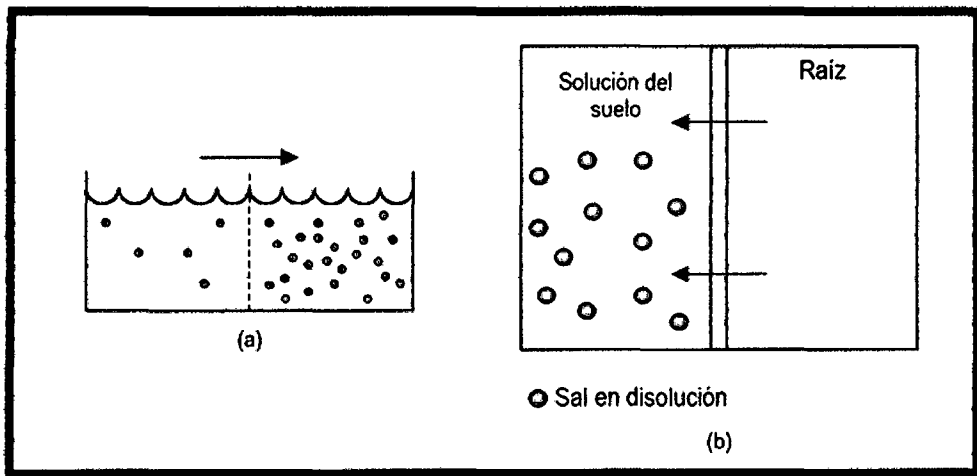
La acumulación de sales en el suelo lleva ligados problemas que se explican a partir de tres efectos diferentes que condicionan la fertilidad. Normalmente ocurre un solapamiento entre estos efectos, y es casi imposible identificarlos por separado:

1) Efecto osmótico. Actúa dificultando la absorción de agua por las raíces. La presión osmótica de la solución del suelo aumenta con la cantidad de iones en disolución. Cuando esto ocurre, las plantas deben realizar un ajuste osmótico en sus células para poder seguir absorbiendo agua. El esfuerzo que debe hacer la planta para extraer el agua equivale al potencial matricial más el potencial osmótico. Este proceso requiere energía que se resta a otros procesos metabólicos.

En condiciones de salinidad, a pesar de que el suelo contenga agua, la planta no es capaz de absorber el agua, sufre estrés hídrico y se seca. Este proceso se conoce como *sequía fisiológica*. En la práctica, la energía adicional requerida para absorber el agua en un suelo salino es aditiva a la energía requerida para

absorber el agua en un suelo no salino; a esta fuerza adicional se la conoce como el efecto osmótico o potencial osmótico (Figura 2.11).

El efecto acumulativo trae como consecuencia una reducción importante en el agua aprovechable para el cultivo a medida que aumenta la salinidad. Los efectos de la salinidad son estrechamente análogos a los de la sequía. La reducción en el crecimiento, daño en los tejidos y necrosis son síntomas típicos del efecto de las sales que son notorios solo después de una exposición a la salinidad.



**Figura 2.11. (a) Si se disponen de dos compartimentos con distintas disoluciones de sales en agua, en contacto a través de una membrana semipermeable, se produce una diferencial de presión osmótica que origina un flujo de agua desde la solución menos concentrada (hipotónica) a la más concentrada (hipertónica). El flujo cesa cuando ambas disoluciones están a la misma concentración. (b) Movimiento del agua desde la raíz (comportamiento hipotónico) al suelo (comportamiento hipertónico) en un suelo salino.**

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

2) Efecto del ión específico. El estudio de los fenómenos de toxicidad específica de los iones se suele plantear desde el punto de vista de un cultivo determinado, y queda al margen del estudio de la fertilidad.

3) Efecto del sodio intercambiable (suelos sódicos). Cuando el catión  $Na^+$  ocupa la mayor parte del complejo arcillo-húmico, éste se dispersa, dificultándose la floculación. El porcentaje de sodio intercambiable se determina mediante la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{[Na^+]}{CIC} \times 100$$

### ➤ Efecto de la salinidad sobre la fertilidad física

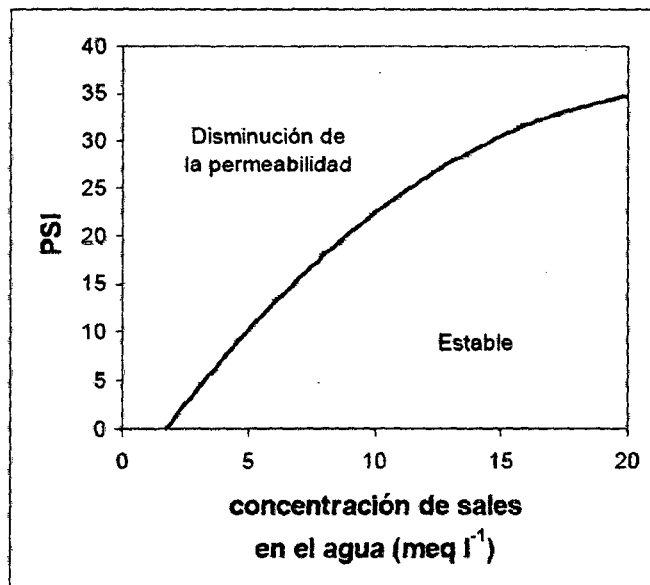
El principal efecto que tiene la acumulación de sales desde el punto de vista de la fertilidad física del suelo es la pérdida de estructura.

La presencia de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo actúa como un dispersante, de modo que evita la floculación de las arcillas y contribuye a la degradación de la estructura. Esto afecta al volumen poroso, que disminuye. Como resultado, disminuye también la permeabilidad y el drenaje vertical del perfil de suelo.

En el manejo de suelos con riesgo de sodificación es necesario tener en cuenta el valor de la concentración crítica para cada valor de PSI, para no producir una disminución de la fertilidad física del suelo por degradación de la estructura. Los datos obtenidos por Quirk y Schofield en 1955 (Figura 2.12) permiten establecer la relación entre estos dos parámetros. Estos datos permiten calcular la concentración crítica de sales (X) en el agua de riego:

$$X = 0.56 \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}^{2+}}}$$

Esto puede contribuir a la mejora de suelos salino-sódicos para evitar la expansión y translocación de coloides, lavando con aguas de alta concentración salina, lo que permitirá mantener una conductividad hidráulica adecuada, de manera que el sodio vaya siendo lavado progresivamente.



**Figura 2.12. Relación entre el PSI y la Concentración de Sales en el Agua del Suelo.**

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

## ➤ Medida de la salinidad

La medida de la composición del suelo en sales solubles es complicada, de modo que se suele realizar una prueba previa de salinidad. Esta es una medida cualitativa, que consiste en medir la conductividad eléctrica (CE) de una mezcla suelo/agua en proporción 1:5 (CE<sub>1:5</sub>) o en pasta saturada (CE<sub>PS</sub>). La CE se mide mediante un conductímetro, cuyo fundamento es un puente de Wheatstone<sup>2</sup>. La CE es proporcional a la concentración de sales en la solución, y se halla influida por la temperatura. Por esta razón, la lectura del conductímetro se halla referida a 25 °C. Sólo en el caso de que se observe un carácter salino del suelo es recomendable realizar el análisis cuantitativo de las sales solubles del suelo. Según la conductividad eléctrica del suelo, ya sea en mezcla 1:5 o como pasta saturada, el suelo se puede clasificar según la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Clasificación del Suelo Según su Conductividad Eléctrica**

CE <sub>1:5</sub> (dS/m)	CE <sub>PS</sub> (dS/m)	DESCRIPCIÓN	COMENTARIO
< 0.35	< 2	No salino	Las plantas cultivadas no presentan problemas
0.35 – 0.65	2 – 4	Ligeramente salino	Algunas especies sensibles pueden presentar problemas
0.65 – 1.15	4 – 8	Salino	La mayoría de plantas cultivadas pueden presentar problemas
> 1.15	8 - 16	Muy salino	Sólo las especies resistentes a la salinidad pueden ser cultivadas

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

Aunque no es un método fiable, sino meramente orientativo, la conductividad eléctrica en pasta saturada puede relacionarse con la conductividad eléctrica en mezcla 1:5 mediante la siguiente ecuación:

$$CE_{PS} = 7.351 * CE_{1:5} - 0.568$$

## ❖ CAMBIO IONICO DEL SUELO

López Antonio Jordán. (2005).Refiere que: Los elementos químicos del suelo pueden ocupar distintos compartimentos:

- 1) En la fase sólida.
- 2) En la fase líquida, disueltos en la solución del suelo.



3) En la interfase sólido-líquido. En este caso, los elementos se hallan localizados en la superficie de las partículas (adsorbidos) y en su área de influencia, de modo que se hallan en íntimo contacto con la solución. La adsorción es la asociación de una partícula (Un átomo, molécula o ión) a la superficie de un sólido.

El sistema responsable del proceso de intercambio se halla precisamente en este último compartimento, y es también llamado complejo de cambio, complejo coloidal o complejo adsorbente. Este complejo está constituido fundamentalmente por arcillas y materia orgánica humificada, y posee carga negativa, lo que le permite la adsorción de cationes. Cada tipo de catión tiene un equilibrio propio entre la solución del suelo y el complejo de cambio. Este equilibrio depende de factores como la carga y tamaño del ión, la competencia con otros cationes o la constitución de los componentes del complejo de cambio.

#### ➤ **INTERCAMBIO IÓNICO**

El intercambio iónico del suelo es un proceso fisico-químico complejo. Fue puesto de manifiesto por Thompson y Way, a mediados del siglo XIX, mediante la percolación de diversas soluciones a través de columnas con arena, arcilla y materia orgánica, de modo que la composición del líquido al salir de la columna había variado respecto al inicial.

La capacidad del suelo para intercambiar iones tiene algunas consecuencias importantes, entre las que destacan las siguientes:

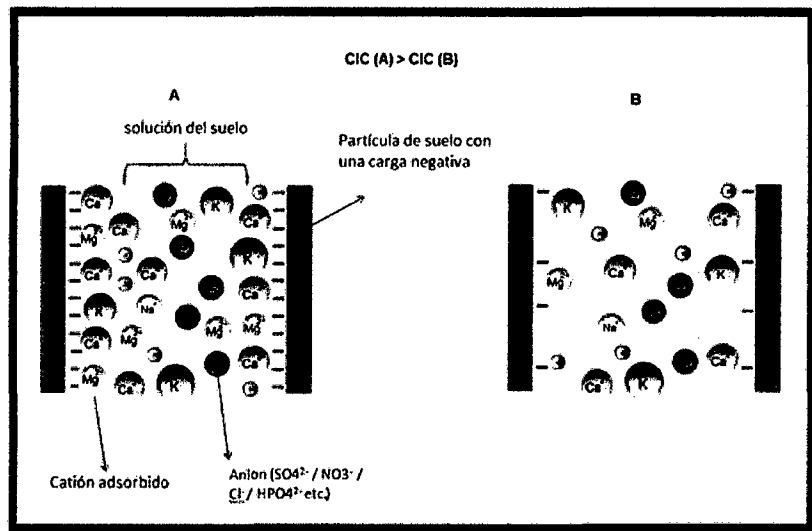
- 1) El suelo puede regular la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- 2) El intercambio iónico interviene en los procesos de floculación / dispersión de las arcillas.
- 3) El suelo puede retener elementos contaminantes o tóxicos, de manera que su efecto sobre el sistema se ve reducido.

#### ➤ **CAMBIO CATIONICO**

##### **A.- Capacidad de Intercambio Catiónico**

**Smart-Fertilizer (2013).** Refiere que: CIC, la Capacidad de Intercambio Catiónico, se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo.

Es un indicador del potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes vegetales, mediante la estimación de su capacidad para retener cationes (cationes = sustancias que tienen carga positiva). Por lo tanto, la CIC del suelo afecta directamente a la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes. Las partículas de arcilla del suelo y la materia orgánica tienen una carga negativa sobre su superficie. Los cationes se atraen a estas partículas por fuerzas electrostáticas. La carga neta del suelo, es por tanto, cero.



**Figura 2.13. Comparación de Capacidad de Intercambio Catiónico.**

Fuente: Manual de Edafología. (2005)

Los suelos con alta CIC suelen tener alto contenido de arcilla y/o materia orgánica. Estos suelos son considerados más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes.

**Tabla 2.7 Relación entre coloide y CIC**

Tipo de coloide (arcillas y humus)	CIC meq/100 g
Caolinita	3-15
Haloisita	5-10
Montmorillonita	80-120
Vermiculita	100-150
Ilita	20-50
Clorita	10-40
Humus	100-300
Sesquióxidos	< 3

Fuente: Manejo y Fertilidad de Suelos. (2011)

**Tabla 2.8 Relaciones entre Textura del Suelo y CIC.**

<b>Textura</b>	<b>CIC (meq/100 g)</b>	<b>Categoría</b>
Arenas	< 5	Muy Baja
Franco -Arenosos Finos	5-10	Baja
Franco y Francos -Limosos	5-15	Media
Franco Arcillosos	15-25	Alta
Arcillas	> 25	Muy Alta

Fuente: Manejo y Fertilidad de Suelos. (2011)

### **B.- Cambio Anionico**

Los suelos ácidos de zonas tropicales, los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos (ricos en alófanos), o los suelos ricos en cargas variables (pH-dependientes) poseen cierta capacidad de intercambiar aniones con la solución del suelo, lo que se conoce como Capacidad de Intercambio Aniónico (CIA).

La caolinita puede presentar cierta carga positiva en las zonas de rotura de la lámina cristalina, lo que permite la adsorción de aniones presentes en la solución del suelo. La adsorción de aniones como el PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y otros puede afectar a la nutrición de las plantas, para las que no se hallarán inmediatamente disponibles.

#### **2.1.2.6. MATERIA ORGANICA**

##### **❖ Importancia de la Materia Orgánica en el Suelo.**

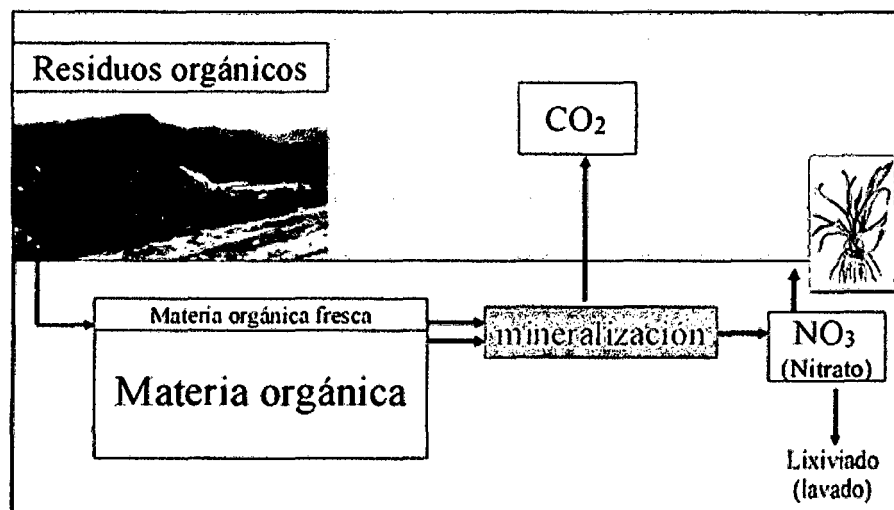
**Agricultura, Fertilización y Medio Ambiente (2011).** Refiere que: El suelo es un recurso básico, limitado y esencial para numerosas actividades humanas entre las que se encuentra la capacidad de producción de alimentos, es lo que llamamos fertilidad. Cuando se habla de fertilidad del suelo nos referimos a su capacidad productiva en general y engloba tres aspectos: en primer lugar la fertilidad química (disponibilidad de nutrientes); en segundo la fertilidad biológica (la materia orgánica del suelo y su actividad) y por último la fertilidad física, es decir, las condiciones favorables o no para el desarrollo radicular (si el suelo está apelmazado, mal drenado, etc).

Los tres aspectos funcionan en equipo y si falla uno de ellos la fertilidad del suelo en su conjunto se verá seriamente afectada. La materia orgánica del suelo

juega un papel fundamental en su fertilidad porque influye directamente sobre los tres tipos de fertilidad comentados.

- **Mejora las propiedades físicas:** Permeabilidad, retención de agua, estructura, facilita el trabajo del suelo, el desarrollo de las raíces.
- **Mejora las propiedades biológicas:** al aumentar la cantidad, diversidad y la actividad de los microorganismos.
- **Aporta importantes cantidades de elementos minerales** a la “despensa” del suelo.

El contenido de materia orgánica de un suelo no es estable sino que se renueva de manera constante. Por una parte se va descomponiendo lentamente (mineralización) y por otra se va incorporando al suelo otra materia orgánica fresca como restos de cosecha y abonos orgánicos. Las cantidades presentes en el suelo son las resultantes del equilibrio entre las entradas (aportes) y las salidas (mineralización, desnitrificación, volatilización, lixiviación, absorción por las plantas, etc.). (Ver el grafico 2.14).



**Figura 2.14. El contenido de Materia Orgánica del suelo es un equilibrio entre los aportes (entradas) y las pérdidas por descomposición (salidas)**

Fuente: Agricultura, Fertilización y Medio Ambiente (2011).

#### ❖ Fuentes de Materia Orgánica.

Las posibles fuentes de materia orgánica son muy variadas. Aunque los restos ganaderos supongan la inmensa mayoría de los abonos orgánicos aportados

en agricultura, en torno al 97%, cada día encontramos más variedad de productos susceptibles de ser utilizados. Entre ellos podemos citar distintos restos:

- Agrícolas: restos de cosecha, rastrojo.
- Ganaderos: distintas especies y formas (dyecciones sólidas y líquidas)
- Agroalimentarios: Subproductos de conserveras, congeladoras, etc.
- Urbanos: Compost, lodos.
- Plantas de biodigestión: digestatos.
- Industriales.
- Harinas de carne.

**Tabla 2.9 Categorías de Materia Orgánica.**

<b>Categorías</b>	<b>Materia Orgánica (%)</b>
Muy Pobre	Menos de 0.5
Pobre	0.5 a 1.0
Moderado	1.0 a 1.5
Normal	1.5 a 2.0
Muy Bueno	2.0 a 3.5
Rico	3.5 a 5.0
Muy Rico	Más de 5.0

Fuente: Manejo y Fertilidad de Suelos. (2011)

#### **2.1.2.7. CALIDAD DE AGUA**

**Fernández R., Oyonarte N., García, J. (2010).** Refiere que: En sistemas de regadío, el uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de salinizar el suelo y en muchos casos puede provocar una disminución en la producción del cultivo. Además de estos, otros problemas importantes que pueden ocasionarse son de toxicidad para las plantas, de infiltración del agua en el suelo y de obturaciones en sistemas de riego localizado.

Mediante la realización de los análisis oportunos se podrá conocer la calidad del agua de riego con bastante precisión. Este es un objetivo fundamental antes de la implantación de un regadío, ya que existen numerosos aspectos que es preciso determinar en función de la calidad del agua como aquellos relacionados con la elección del sistema de riego o el cultivo a establecer, los

componentes de la instalación de riego o el tipo de tratamientos que es preciso realizar al agua para poder regar con ella. Otros aspectos como el dimensionamiento de la red de drenaje se pueden conocer una vez que se haya analizado la calidad del agua de riego y se conozcan las necesidades de lavado.

Además de constituir un importante criterio de elección, la calidad del agua de riego y en particular el contenido de sales, es un indicador necesario para un manejo del riego y balance de sales en la zona de raíces adecuado y evitar en lo posible los problemas indicados anteriormente.

El análisis de una muestra de agua deberá hacerlo un laboratorio especializado en este tipo de procedimientos, y deberá proporcionar al menos la siguiente información:

**Tabla 2.10 Valores de análisis de muestra de agua.**

	Valores normales		Valores normales
pH	6 - 8.5	Potasio	0 - 2 mg/L
Conductividad eléctrica	0 - 3 dS/m	Sodio	0 - 920 mg/L
Carbonatos	0 - 3 mg/L	Boro	0 - 2 mg/L
Bicarbonatos	0 - 600 mg/L	Hierro	0 - 0.5 mg/L
Cloruros	0 - 1100 mg/L	RAS (1)	0 - 15
Sulfatos	0 - 960 mg/L	Dureza	0 - 40 F (2)
Calcio	0 - 400 mg/L	Sólidos en suspensión	0 - 100 mg/L
Magnesio	0 - 60 mg/L	Bacterias	0 - 25 000 por cm <sup>3</sup>

(1) RAS: relación de adsorción de sodio

(2) Grados Franceses

Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Módulo 1, Fundamentos de Riego. (2005)

#### ❖ Medida de la conductividad eléctrica

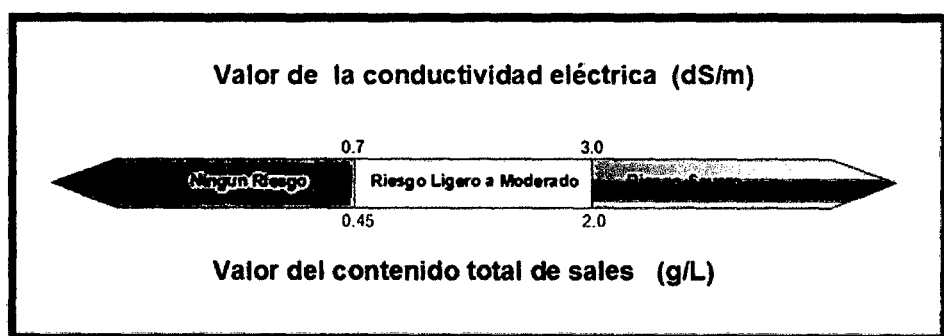
La concentración o el contenido total de sales se pueden determinar de manera muy simple y rápida utilizando un aparato llamado conductímetro, que mide en realidad la conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica suele expresarse en deciSiemens por metro (dS/m) o en milimhos por centímetro (mmho/cm) y a una temperatura determinada, siendo ambas unidades equivalentes (una muestra con una conductividad de 1.2 dS/m tendrá también 1.2 mmho/cm). Una vez que se ha determinado la

conductividad eléctrica, el contenido total de sales (CTS) en g/L (gramos por litro) se calcula con una fórmula muy simple:

$$\text{Contenido Total de Sales} = 0.64 \times \text{Conductividad eléctrica}$$

Existen una serie de criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas medidas en ella, criterios que deben usarse con precaución y ser aplicados con carácter general ya que cada caso particular puede tener soluciones adecuadas. La FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales:



**Figura 2.15. Riesgo de Salinización del Suelo según la Conductividad Eléctrica o el contenido total de Sales del Agua de Riego.**

Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Módulo 1, Fundamentos de Riego. (2005)

Los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como lavado de sales frecuente o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad. No obstante la experiencia y el asesoramiento técnico serán muy útiles para adecuar los límites y tolerancias en función del sistema de riego, el tipo de suelo y el cultivo.

#### ❖ Problemas de infiltración

Aunque se aporte agua al suelo mediante riego, si la infiltración es deficiente pueden surgir serios problemas para que ésta llegue a las raíces de las plantas. Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el sodio (que suele estar presente en el agua de riego) se incorpora al suelo y deteriora su estructura; los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que tapan o sellan los poros y

evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad. El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que saber también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo.

La forma de evaluar ese balance se realiza con un índice llamado Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Cuanto mayor sea el RAS, mayor será la cantidad de sodio con respecto a la de calcio y magnesio y mayores serán los problemas de degradación del suelo y de infiltración del agua.

La salinidad del agua y la relación de adsorción de sodio, evaluados de forma conjunta, son normalmente los dos criterios más restrictivos para el uso del agua para riego.

**Tabla 2.11 Clases de Conductividad (salinidad)**

Clase	mhos	Características
C1	0-250	Poca salinidad. Útil para la mayor parte de los cultivos.
C2	250-750	Salinidad moderada. Puede usarse en la mayor parte de los cultivo, excepto en los mas susceptibles, a menos que se cuente con suelos permeables.
C3	750-2250	Salinidad Mediana a elevada. Recomendable en suelos de permeabilidad moderada a buena. Necesita lavados y cuidados especiales para control de salinidad.
C4	2250-4000	Salinidad elevada. Aplicable a suelos muy permeables y con lavados especiales para el control de salinidad.
C5	4000-6000	Salinidad muy elevada. Generalmente no apropiados para el riego, a menos que el suelo sea muy permeable y con lavados frecuentes.
C6	> 6000	Salinidad Excesiva. No es útil para el riego.

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)

**Tabla 2.12 Presencia de Sodio**

Clase	m.e/lt	Características
S1	0-10	Baja en sodio. Puede usarse en la mayor parte de los cultivo, excepto en los muy sensibles.
S2	10-18	Media en Sodio. Recomendados para suelos de textura gruesa u orgánicos permeable.
S3	18-26	Alta en Sodio. Puede producir niveles tóxicos en la mayoría de los suelos. Necesitan prácticas especiales de manejo.
S4	> 26	Muy alta en Sodio. No es apropiada para el riego, excepto con salinidad media a baja, cuando la disolución de calcio del suelo o la aplicación de sulfato de calcio u otros mejoradores, es económica.

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)



jóvenes. Tolera salinidad de 2 a 6 Mm/cm. En suelos con 8 Mm/cm reduce la producción de pasto en un 50%. Se han seleccionado variedades que toleran más de 8 Mm/cm. Un alto contenido de sodio en el suelo, tiene efecto fitotóxico sobre la planta.

**Tabla 2.13 Efectos del pH en Rendimiento de Forrajera en Toneladas**

pH	Rendimiento Potencial del Forraje (Tn/ha)
5.0	1.6 = 9 %
5.7	7.6 = 41 %
6.0	9.0 = 50 %
6.3	10.8 = 60 %
6.5	15.7 = 86 %
6.8 - 7.5	18.2 = 100%

Fuente: Manual Técnico Forratec N° 2. (2008)

**Tabla 2.14 Niveles de Fertilidad**

Fertilidad del Suelo Nivel para 14 - 18 Ton. Alfalfa (ppm)		Fertilidad del Suelo Nivel para 18 - 22 Ton. Alfalfa (ppm)	
P	30	P	40
K	200	K	225
B	1.5	B	1.5
S	15	S	20
Ca	500	Ca	500
Mg	100	Mg	100
Mn	10	Mn	10

Fuente: Manual Técnico Forratec N° 2. (2008)

#### 2.1.2.9. SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO

**Burgcom (2013)**.Refiere que: “Se le denomina así, porque permite la aplicación del agua y los fertilizantes al cultivo en forma de "gotas" y localizada con alta frecuencia, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno u óptimo.

Esta aplicación, se hace mediante una red de tuberías (de conducción y distribución de PVC o Polietileno), y de laterales de riego (mangueras o

cintas), con emisores o goteros, que entregan pequeños volúmenes de agua periódicamente, en función de los requerimientos hídricos del cultivo y de la capacidad de retención del suelo.”

### **Ventajas del Sistema del Riego Tecnificado**

- Permite aplicar el agua en forma localizada, continua eficiente y oportuna.
- Se adapta a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- En paralelo se riega fertiliza y controla plagas, ahorrando tiempo y jornales.
- Evita desarrollo de maleza y la presencia de plagas y/o enfermedades.
- Permite aplicar agua y fertilizante cuando la planta lo requiere lo cual favorece significativamente el desarrollo de las plantas y la producción.
- Permite alcanzar entre los 90 y 95% de eficiencia de aplicación, que no se alcanza con otro sistema de riego.
- Se puede utilizar aguas salinas dependiendo de la tolerancia del cultivo.

No le afectan los vientos fuertes, ya que el agua es aplicada directamente a la zona radicular.

### **2.1.2.10. DISEÑO AGRONÓMICO**

**Fuentes, Y. José, (2003)** Refiere que: En todo sistema de riego el diseño agronómico es el componente fundamental, al extremo que los errores que se cometan en esta fase hacen que no sirvan los detallados cálculos hidráulicos o la elección de automatismo. La importancia de un buen diseño agronómico en los proyectos de riego por goteo repercutirá directamente en: La producción y operaciones de riego, capacidad de las redes estructurales de riego.

#### **❖ Evapotranspiración**

Recibe el nombre de evapotranspiración potencial (o uso consuntivo de agua) a la cantidad de agua transpirada por el cultivo y evaporada desde la superficie del suelo en donde se asienta el cultivo. Cabe distinguir dos formas de evapotranspiración:

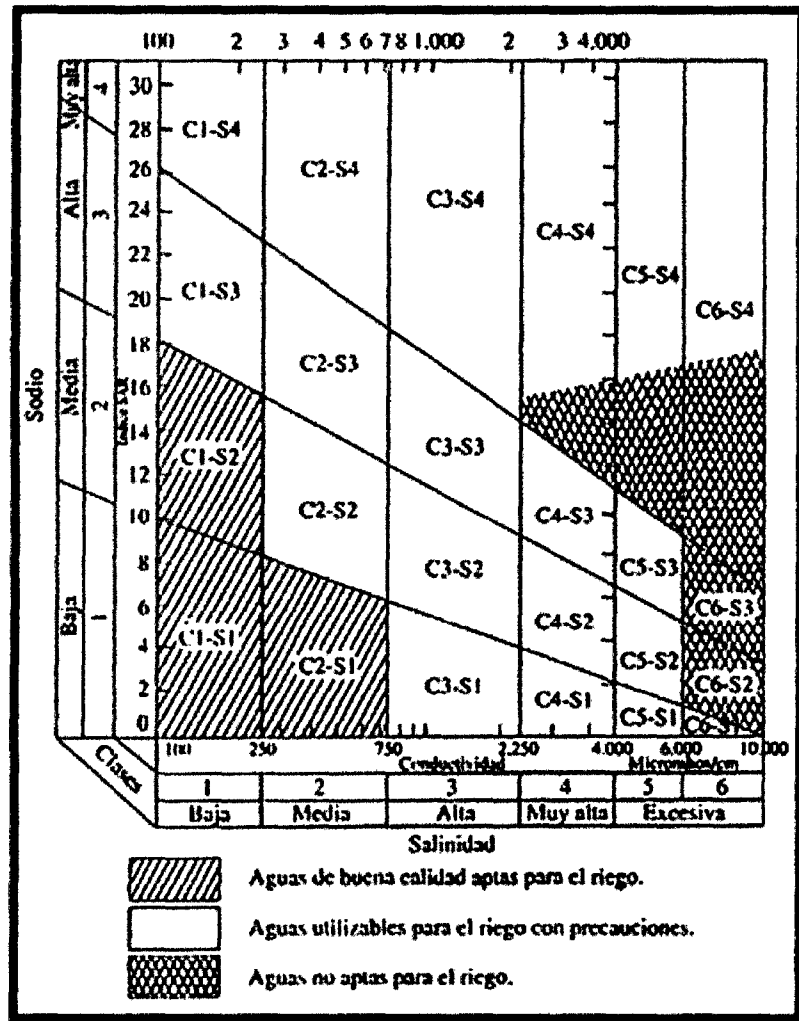


Figura 2.16. Normas de Riverside para Evaluar la Calidad de las Aguas de Riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory).  
Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973)

### 2.1.2.8. ALFALFA

Bustillos Exequiel (2013) Refiere que: “La frecuencia de riego y la profundidad del agua a aplicar están en función del suelo, las condiciones climáticas prevalecientes y la profundidad de las raíces. La alfalfa tiene raíces profundas y esto tiene un efecto significativo en la frecuencia y la cantidad de agua a aplicar. No obstante la alfalfa absorbe agua de los primeros centímetros del suelo y es lo que se debe considerar para tomar la decisión de regar.

El promedio de consumo anual de agua de riego varía fundamentalmente según “eficiencia de uso” con que se trabaje. El volumen de cada riego puede variar entre 1.000 a 1.400 m<sup>3</sup>/ha dependiendo de la evapotranspiración.

La cantidad de agua de riego es importante en la producción de alfalfa. La absorción de nutrientes en general se incrementa a medida que la tensión de la humedad del suelo disminuye desde marchitez permanente a capacidad de campo. Sin embargo, excesos de humedad en el suelo pueden conducir a una reducción significativa en el potencial de crecimiento de la alfalfa. Incrementando la disponibilidad de nutrientes en el suelo, no pueden eliminar los efectos adversos del exceso de humedad. La posibilidad de variaciones de la humedad del suelo y la importancia del agua para la producción de materia seca, enfatizan la necesidad de un plan de fertilización y otras técnicas de producción, con el conocimiento de las limitaciones impuestas por la disponibilidad de agua.

La alfalfa es una especie de gran adaptación a distintos climas: húmedos, sub húmedos, semiáridos y áridos. La diversidad de variedades disponibles permite tener posibilidades de producción en distintos ambientes. Se adapta a distintos tipos de suelos, pero prefiere los suelos profundos y bien drenados. En suelos con algún impedimento de profundidad la producción de pasto es menor. En aquellos suelos con drenaje lento hay que plantar variedades que tengan buen comportamiento a enfermedades de raíz y corona.

El pH ideal varía de 6,8 a 7,5, rango en el cual la mayoría de los nutrientes, como por ejemplo: calcio, potasio, fósforo, magnesio y azufre, están disponibles. Además es muy importante saber cuánto Azufre hay (óptimo entre 10-15 ppm de Sulfatos) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) en 13-20 meq/100 g. Estos datos son fundamentales para arrancar con un cultivo de alta tecnología. La planta tiene una raíz principal pivotante que profundiza el suelo, la que puede extraer agua desde abajo y le permite tolerar sequía y un sistema radicular secundario, superficial, en cabellera que le permite absorber el 70% de los nutrientes. Por estas raíces, se introducen las bacterias *Rhizobium* (*Sinorhizobium meliloti*) que forman los nódulos.

La alfalfa tolera deficiencias hídricas prolongadas pero no tolera los anegamientos del suelo y en especial si éstos se dan con temperaturas altas. En implantación, un anegamiento de 36 horas y con 30°C, hay muerte de plantas. Las plantas adultas presentan más tolerancia a condiciones de asfixia que las

**Evapotranspiración Potencial (ETP):** Es la cantidad de agua consumida, durante un determinado periodo de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua.

**Evapotranspiración real (ETR):** Es la cantidad de agua realmente consumida por un determinado cultivo por un periodo de tiempo considerado.

Desde el punto de vista hidrológico, el rendimiento de los cultivos es máximo cuando la transpiración es máxima y esto ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores condiciones posibles, ocurre entonces la evapotranspiración real que coincide con la evapotranspiración máxima. Su cálculo se realiza por la siguiente formula.

$$ETR = Kc * ETP$$

Donde:

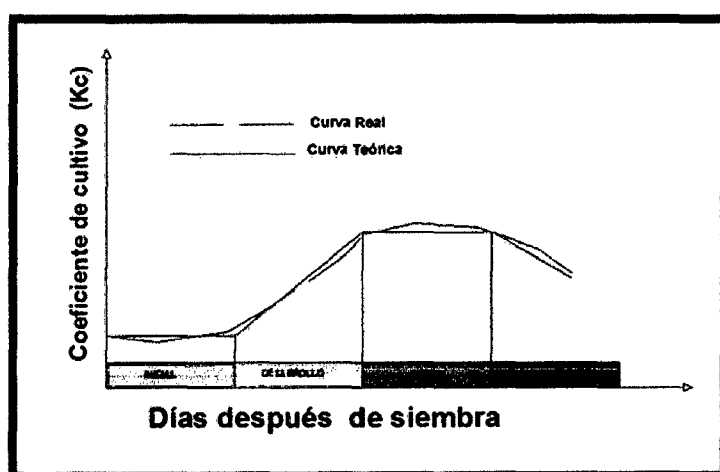
Kc: coeficiente de cultivo del mes de inicio de mantenimiento o machaco o el más crítico.

ETP: Evapotranspiración Potencial (mm/mes).

#### ❖ Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo (Kc) describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian cuatro etapas o fases del cultivo:



**Figura 2.17. Curvas Real y Teórica Típicas de Coeficiente de Cultivo para Especies Anuales, según las diferentes Fases de Desarrollo.**

Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Modulo 1, Fundamentos de Riego. (2005)

Como se observa en la figura, Kc comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de coeficiente de cultivo se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrecen durante la fase de maduración.

Lo mejor es disponer de valores de Kc para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembra, pero en ausencia de esta información se pueden usar valores orientativos de coeficiente de cultivo para varios cultivos herbáceos y hortícolas como los siguientes, en los que se observa que aun siendo diferentes para cada cultivo, presentan valores bastante próximos entre ellos.

**Tabla 2.15 Valores de Kc herbáceos y hortícolas**

	Fase de Cultivo			
	Inicial	Desarrollo	Media	Maduración
<b>Algodón</b>	0.45	0.75	1.15	0.75
<b>Berenjena</b>	0.45	0.75	1.15	0.80
<b>Cebada</b>	0.35	0.75	1.15	0.45
<b>Girasol</b>	0.35	0.75	1.15	0.55
<b>Judía verde</b>	0.35	0.70	1.10	0.30
<b>Lechuga</b>	0.45	0.60	1.00	0.90
<b>Maíz</b>	0.40	0.80	1.15	0.70
<b>Melón</b>	0.45	0.75	1.00	0.75
<b>Patata</b>	0.45	0.75	1.15	0.85
<b>Pimiento</b>	0.35	0.70	1.05	0.90
<b>Remolacha</b>	0.45	0.80	1.15	0.80
<b>Soja</b>	0.35	0.75	1.10	0.60
<b>Sorgo</b>	0.35	0.75	1.10	0.65
<b>Tabaco</b>	0.35	0.75	1.10	0.90
<b>Tomate</b>	0.45	0.75	1.15	0.80
<b>Trigo</b>	0.35	0.75	1.15	0.45
<b>Zanahoria</b>	0.45	0.75	1.05	0.90

Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Modulo 1, Fundamentos de Riego. (2005)

#### ❖ Lamina neta de agua

Llamada también tasa de riego, es la cantidad de agua aplicada a un suelo en cada riego. Por tanto su unidad de medida se expresa en mm. De altura de agua aplicada. La lámina neta de agua aplicada a un suelo, depende de dos factores básicos: la capacidad retentiva de humedad del suelo y

la profundidad de riego. Su determinación es haciendo uso de la siguiente formula.

$$Ln = \frac{(CC - PMP) * Da * P}{100}$$

Donde:

Ln: Lamina Neta de agua. (mm)

CC: Capacidad de Campo. (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente. (%)

Da: Densidad Aparente del suelo.((gr/cm<sup>3</sup>)/ (gr/cm<sup>3</sup>))

P: Profundidad de raíces. (mm)

#### ❖ Lamina Bruta de agua

Cuando se aplica u riego a la parcela, se trata de que produzca la menor cantidad de pérdidas posibles, aunque en la práctica no existe un riego totalmente eficiente. Indudablemente la eficiencia depende de la habilidad, destreza y experiencia del agricultor cuando nos referimos al riego por gravedad, pero cuando aplicamos riego por aspersión depende más del clima y de la tecnología de riego propuesto.

Su cálculo es como:

$$Lb = \frac{Ln}{E}$$

Donde:

Lb: Lamina bruta de agua (mm)

Ln: Lamina neta de agua. (mm)

E: eficiencia de aplicación. (%)

#### ❖ Eficiencia de Riego.

En las áreas bajo riego es fundamental el estudio de dos de los recursos más importantes para la sustentación de la agricultura; el suelo y el agua. La eficiencia con que los agricultores riegan depende del manejo del agua durante el riego y de las características hidrodinámicas del suelo. Esta Interacción es causa de una determinada eficiencia en el uso del agua con fines

de riego. Casi siempre se aprecia que los diferentes métodos de riego operan con rangos de eficiencia diferentes con que fueron diseñados.

#### ❖ Frecuencia o intervalo de riego

La frecuencia de riego se refiere al intervalo de tiempo o días que deben pasar entre riegos sucesivos. En otras palabras responde a la pregunta ¿Cuándo regar?, para obtener un rendimiento adecuado en cantidad y calidad de un determinado cultivo. La condición ideal es que el riego se ejecute cuando el contenido de agua disponible en el suelo sea lo suficientemente alto, de tal manera que el suelo pueda suministrar agua con la rapidez necesaria para compensar las exigencias de la planta sin que ésta sufra ningún trastorno que pueda reducir el rendimiento o calidad del producto cosechado.

#### ❖ Tiempo de regar

El tiempo de riego es el período que debe permanecer el agua escurriendo sobre el suelo para que penetre hasta la profundidad de raíces del cultivo. Una forma práctica de determinarlo es a través de la profundidad de las raíces. Por ejemplo, en suelos profundos las raíces del maíz pueden llegar a una profundidad de 2 m, pero la mayor parte se sitúa en los primeros 60 a 80 cm, produciéndose en esa capa de suelo cerca del 90% de la absorción de agua. Esto indica que los riegos en esos suelos deben humedecer hasta esa profundidad para lograr la máxima eficiencia.

Los tiempos de riego para mojar 1,0 m de profundidad en diferentes texturas de suelo, considerando un contenido de humedad inicial equivalente al 40% de la humedad aprovechable se indican en la Tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Tiempo de riego promedio para humedecer hasta 1.0 m de profundidad en diferentes tipos de suelo.**

<b>Textura</b>	<b>Tiempo de Riego (hr)</b>
Arcilloso	15 a 25
Franco Arcilloso	10 a 18
Franco y Franco	
Arenoso	8 a 10
Arenoso	4 a 6

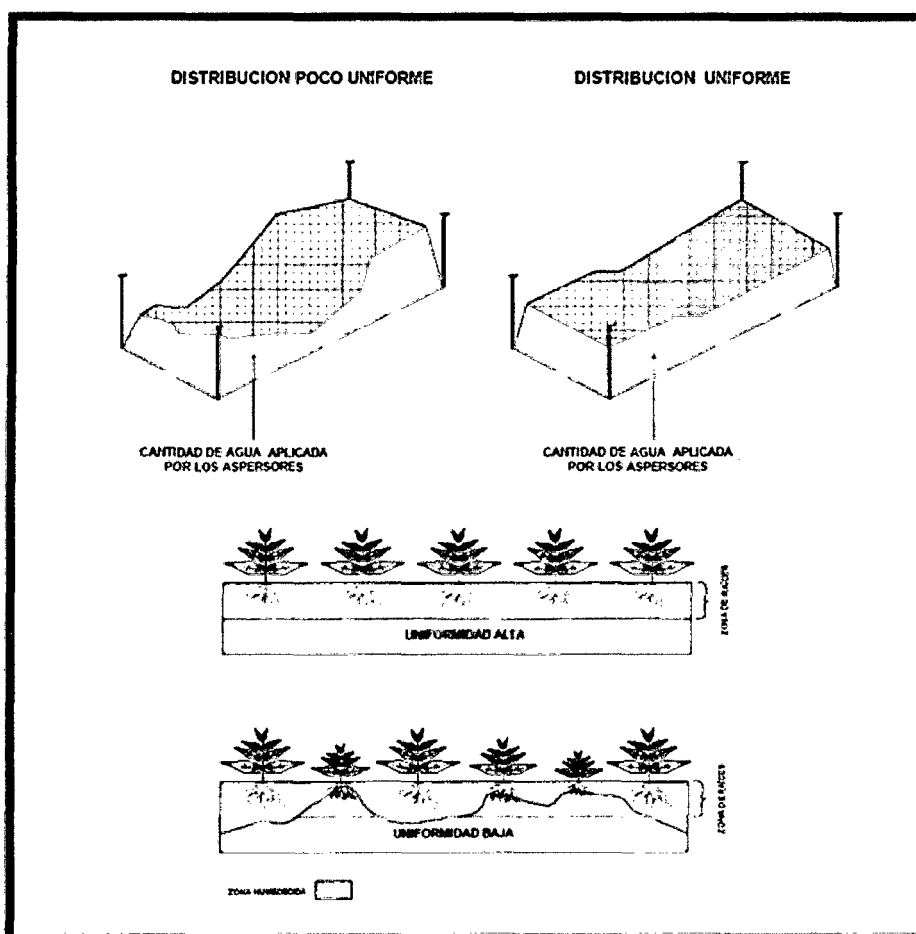
Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Modulo 1, Fundamentos de Riego. (2005)



## 2.1.2.10. DISEÑO HIDRAULICO

### ❖ Hidráulica y Riegos

Franco Salas A., Urrestarazu Pérez L. (2013). Refiere que: El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y de la optimización del trazado de la misma, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus formas de desarrollo; otro objeto es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se obtendrán buenas producciones con el menor gasto de agua, figura 2.18.



**Figura 2.18. Distribución y optimización del agua aplicada**  
Fuente: Manual de Riego para Agricultores, Modulo 3, Riego por Aspersión. (2005)

Los ramales, porta aspersores o alas de riego son los que distribuyen el agua al cultivo por medio de los aspersores acoplados a ellos. Las tuberías porta laterales o de alimentación son aquellas de donde derivan los ramales. Tanto en ramales como porta ramales se da el caso de una conducción con salidas

múltiples distribuidas a lo largo de ella, uniformemente espaciadas y por las que descarga el mismo caudal.

$$Q = n \cdot q$$

Q = Caudal del ramal

n = Número de salidas

q = Caudal de cada salida

Al principio de la tubería con salidas múltiples (en su conexión con la tubería de alimentación), el caudal es Q. A medida que se avanza en la tubería, las pérdidas de carga por rozamiento son menores que las que ocurren en una tubería de igual diámetro y longitud, pero sin salidas intermedias. Estas pérdidas de carga se pueden calcular tramo por tramo entre dos salidas consecutivas, en donde el caudal se mantiene constante, y luego sumar los valores obtenidos en todos los tramos. Para evitar este procedimiento tan engorroso, Christiansen ideó un método basado en calcular la pérdida en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad, sin salidas intermedias, por la que circula el caudal Q. Posteriormente se multiplica por un coeficiente reductor F (Factor de Christiansen) para que las pérdidas en ambos casos sean equivalentes.

### 2.1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

- a) **ACIDEZ DEL SUELO.-** Suelo con reacción ácida por debajo de 6.6, valor considerado como normal para suelos agrícolas, hasta donde alcanza la profundidad de suelos agrícolas, en esta porción de suelo la concentración de iones  $H^+$  y  $Al^{+++}$  están en niveles altos en el complejo de cambio.
- b) **FERTILIDAD DEL SUELO :** Cualidad que capacita a un suelo para suministrar los compuestos necesarios en cantidades convenientes y balanceadas apropiadamente para el crecimiento de plantas específicas, siendo favorables otros factores como la luz, la temperatura, y las condiciones físicas del suelo.

- c) **MATERIA ORGÁNICA.-** Término general que se aplica al material animal o vegetal en cualquier estado de descomposición que se encuentra sobre o dentro del suelo.
- d) **METEORIZACIÓN.-** Desintegración y descomposición física y química de las rocas y de los minerales.
- e) **PERFIL DEL SUELO:** Sección vertical del suelo a través de todos los horizontes hasta llegar al material parental.
- f) **PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO.-** Espesor del material del suelo, en el cual las raíces de la plantas pueden penetra fácilmente para obtener agua y nutrientes. Está limitado en la parte inferior por una capa de características físicas y químicas capaces de impedir o retardar en forma considerable, el crecimiento de la raíces.
- g) **REACCIÓN DEL SUELO.-** Grado de acidez o alcalinidad del suelo
- h) **SUELO.-** Cuerpo natural compuesto de materiales orgánicos y minerales colocados sobre la superficie de la corteza terrestre, en el cual crecen plantas.
- i) **TERRENO DE CULTIVO.-** área de cultivo utilizado regularmente para la producción de cosechas, con excepción de las forestales.
- j) **TEXTURA DEL SUELO.-** Proporción relativa de arena, limo y arcilla en un suelo, de acuerdo al cual se ordenan en clases texturales, según la cantidad y tamaño de partículas que poseen.
- k) **USO DEL SUELO:** Ocupación del suelo por cualquier actividad que haga un uso directo.
- l) **PESO ESPECÍFICO:** El peso específico de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen. Se calcula dividiendo el peso de la sustancia entre el volumen que ésta ocupa.

En el Sistema Técnico, se mide en kilopondios por metro cúbico ( $\text{kp}/\text{m}^3$ ). En el Sistema Internacional de Unidades, en newton por metro cúbico ( $\text{N}/\text{m}^3$ ).

- m) **HUMEDAD DEL SUELO:** Cantidad de agua almacenada dentro o en la superficie de las tierras que se encuentra disponible para la evaporación.
- n) **SALINIZACIÓN:** Acumulación de sales en suelos.
- o) **CAPILARIDAD:** Elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido, por ejemplo, en las paredes de un tubo.
- p) **POROSIDAD:** Relación del volumen de vacíos entre el volumen de la muestra de suelo.
- q) **SUELO HOMOGÉNEO:** Suelo en el que sus propiedades no varían de un punto a otro.
- r) **SUELO SATURADO:** Suelo que se caracteriza por tener todos sus vacíos ocupados por agua.

## CAPÍTULO III

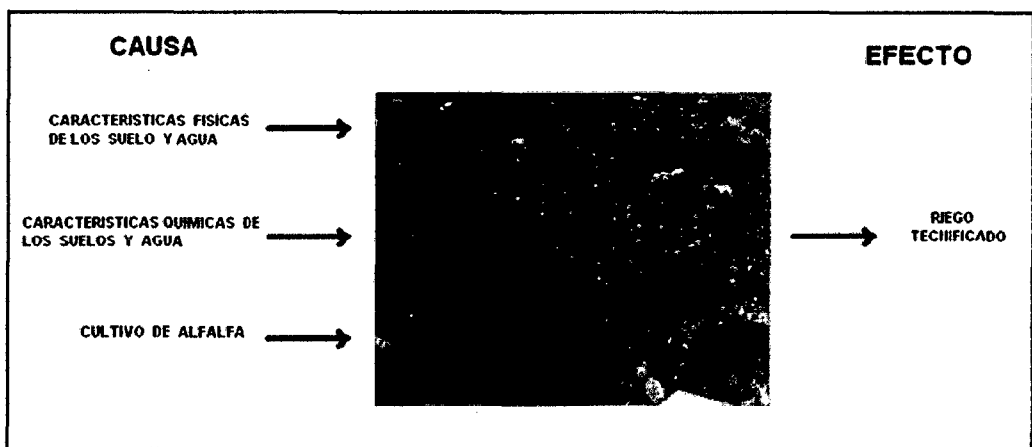
### 3.1. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Aplicada /Descriptivo

#### 3.1.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

No experimental



**Figura 3.1 Sistema Físico**

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1.3 METODO

No probabilístico

#### 3.1.4 UNIVERSO

Todas las áreas agrícolas pertenecientes al sector MITAPAMPA- IIASAM- TINGUA

#### 3.1.5 TAMAÑO DE MUESTRA

Unidades de muestreo del sector MITAPAMPA IIASAM – TINGUA.

### **3.1.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

#### **MATERIALES:**

- Pala.
- Probeta
- Pizeta.
- Vaso precipitado.
- Wincha.
- Cronómetro.
- Botellas de 2 litros.
- Cilindros Infiltrómetros

#### **EQUIPOS:**

- Estación total
- GPS
- Hidrómetro
- Balanza analítica
- Termómetro.
- Potenciómetro.
- Cámara Fotográfica.
- Agitador Eléctrico.
- Tensiómetro

## **3.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION**

### **3.2.1 TRABAJO DE CAMPO**

#### **3.2.1.1 Ubicación del área del proyecto**

Se ubicó el área del proyecto identificando el lugar, distrito y provincia para luego con la ayuda de imágenes satelitales ubicamos geográficamente la longitud y latitud del área del proyecto. Así mismo se buscó información básica de clima, temperatura y humedad relativa.

#### **3.2.1.2 Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico se realizó con la ayuda de un GPS y una estación total que nos permitió obtener datos reales en coordenadas UTM. También se ubicó el canal de riego.

### **3.2.1.3 Calicatas para la toma de muestra de suelo**

- Antes de proceder a la toma de muestras, se delimito las áreas que se tomó como unidades de muestreo. Para esto se elaboró un croquis de campo, tomando en cuenta la productividad del suelo, topografía, textura, estructura, drenaje, color, vegetación dominante, manejo y cultivo anterior.
- En suelos uniformes, se procedió a tomar una muestra la cual contiene por lo menos 15 a 30 submuestras para un área máxima de 4 a 6 hectáreas, pero en suelos con mucha variabilidad el terreno se dividió de acuerdo a los criterios antes mencionados.
- La profundidad del muestreo varía de acuerdo al sistema radicular del cultivo a establecerse, en general, las muestras se tomaron desde la superficie hasta el inferior de la capa arable, en la mayoría de los casos es de 0-30 cm.
- Las submuestras se tomaron cada 15 a 20 pasos, siguiendo un Zig-zag y utilizando para ello una pala. Las rebanadas de suelo que se tomaron son delgadas para no formar muestras muy grandes, las submuestras se colectaron en bolsas de plástico. Se mezclaron bien el suelo y se apartó de 500 gr a 1000 gr, que se guardó en una bolsa de plástico debidamente identificada y etiquetada.

El suelo debe guardar la humedad que tiene en el campo.

### **3.2.1.4 Toma de muestra de agua**

- Identificación del canal de riego.
- Enjuagamos la botella 4 veces con el agua del mismo canal.
- Tomamos la muestra.
- Luego rotulamos la botella.
- La llevamos al laboratorio.
- Al momento de trasportarlo evitamos exponerlo al sol.

### **3.2.1.5 Capacidad de Campo y Punto de Marchitez-Método del Tensiómetro.**

- Se preparó en un cubo agua con el líquido alguicida, siguiendo las instrucciones de dosificación, que suelen ser de un tapón del frasco para 4 litros de agua, preferentemente destilada o de lluvia.

- Rellenamos el tubo de los tensiómetros con el agua tratada e introducimoslos sin tapar el cubo con 24 horas de antelación, como mínimo, a su instalación en el terreno, para que se saturen de agua los poros de la punta cerámica.
- Nos Dirigimos a la zona donde se colocó los tensiómetros transportándolos inmersos en el cubo y abrimos un agujero con la barra de hierro con una profundidad similar a la del tensiómetro que se colocó. Rellenamos el tensiómetro con el preparado, incluyéndola cámara de reserva, y hacer el vacío con la bomba, llegando un par de veces a 80-85 centibares. Para retornar a cero desconectar suavemente la bomba para que el descenso de la aguja sea suave y no se dañe, desplazando ligeramente el cierre o ventana de goma que lleva la ventosa de la bomba.
- Colocamos el tensiómetro en el agujero asegurando el perfecto contacto de la punta cerámica con el fondo. Aplicamos de nuevo la bomba de vacío, con cuidado de no forzar la situación del tensiómetro en el terreno, hasta que dejen de aparecer burbujas de aire. Rellenamos el líquido y colocamos el tapón, sin exagerar su enroscado. Al poco tiempo de su instalación se observó el movimiento de la aguja que, al cabo de 30-40 minutos, se situó en la lectura correspondiente a la disponibilidad de agua del suelo.
- Observamos en los próximos días si desciende el nivel del líquido o si aparecen burbujas de aire, en tal caso hay que rellenamos la cámara y colocamos nuevamente el tapón.
- Se hizo la lectura de la tensión y se llevó una muestra de suelo para determinar el contenido de humedad.
- Con estos datos se hizo una relación de contenido vs tensión.

### **3.2.1.6 Velocidad de infiltración-Método de Cilindros Infiltrómetros**

#### **➤ Instalación de los cilindros**

- a) Introducimos el cilindro exterior en el lugar seleccionado, mediante el uso de una comba, golpeando la plancha metálica que se ha colocado sobre el cilindro. El cilindro se introdujo hasta unos 5 cm aproximadamente, luego se introdujo el cilindro interior unos 10 cm.
- b) La introducción de los cilindros se efectuó verticalmente a fin de evitar que se alteren significativamente las condiciones de la superficie del suelo. Una vez instalados los cilindros, se removio con cuidado del suelo, que se



encuentra adyacente a las paredes de estos y se coloca la regla graduada, fijándolo adecuadamente en la parte externa del cilindro interior.

c) Luego se extendió la lámina de plástico sobre la superficie del suelo, del cilindro interior.

➤ **Llenado de los cilindros**

a) Una vez colocado el plástico en el cilindro interior, se procedió a su llenado con agua hasta aproximadamente una lámina de 10 a 15 cm.

b) El agua se aplicó al cilindro exterior, e inmediatamente al cilindro interior. Llenado los cilindros, se procedió a retirar el plástico del cilindro interior, para iniciar inmediatamente las lecturas de la carga de agua.

c) El agua entre los cilindros es para tratar de anular la infiltración lateral que pueda presentarse el cilindro interior y exterior debe de ser aproximadamente el mismo.

➤ **Lectura del nivel del agua**

a) Retirado el plástico del cilindro se procedió a efectuar las lecturas del nivel del agua en el cilindro interior dicho nivel se mido con regla graduada previamente colocada.

b) Las mediciones se realizaron en intervalo de tiempo determinado, siendo en un principio 2, 4, 5 minutos posteriormente 10, 20 minutos la prueba duro dos horas (en función a la textura).

c) Cuando en los cilindros se había infiltrado una lámina alrededor de 5 cm, se procedió a llenar nuevamente procurando alcanzar el mismo nivel inicial. Esta operación debe ser hecha rápidamente, para lo cual debe efectuarse una lectura antes e inmediatamente después del llenado a fin de que el tiempo transcurrido en esta operación sea considerado “cero”. La duración no debe ser menor de dos horas, salvo suelos de textura muy gruesa.

d) En forma general, se indica que la duración de la prueba debe ser hasta que la tasa de infiltración sea sensiblemente constante.

**Tabla 3.1 Lectura de Cilindro Infiltrómetro**

Tiempo (minutos)		Lectura (cm)
parcial	Acumulado	
0	0	
2	2	
2	4	
2	6	
4	10	
5	15	
5	20	
5	25	
10	35	
10	45	
10	55	
15	70	
15	85	
15	100	
20	120	

Fuente: Elaboración Propia

### **3.2.2 TRABAJO DE LABORATORIO**

#### **3.2.2.1 Determinación de la textura, mediante el Método del Hidrómetro o de Bouyoucos.**

- Pesar 50 gr. de suelo y colocar en el vaso de dispersión.
- Adicionar agua destilada 1/3 del volumen.
- Agregar 2 ml de NaOH al 4% y 2 ml de oxalato de sodio al 5% (o pirofosfato de sodio).
- Agitar por 5 minutos en el agitador eléctrico.
- Trasvasar la suspensión del suelo a la probeta de 1000 ml con la ayuda de una pizeta con agua destilada evitando en lo posible la pérdida de partículas.
- Enrasar el contenido de 1000 ml con agua destilada.
- Tomar la probeta, tapar la boca con la palma de la mano y agitar con fuerza para que todas las partículas pasen a suspensión. Luego colocar la probeta en la mesa de trabajo y hacer la primera lectura a los 40 segundos con el hidrómetro, luego agitar la probeta.
- Retirar el hidrómetro, medir la temperatura y dejar en reposo por una hora.
- Transcurrida la hora y sin agitar la probeta, se coloca el hidrómetro y se hace la segunda lectura, así como también la temperatura.

El hidrómetro está calibrado para trabajar a una temperatura de 20°C, por eso cuando la temperatura es mayor o menor de 20°C se hace una corrección. Por cada grado inferior 20°C se resta 0.20 a la lectura y por cada grado encima de 20°C se suma 0.20 a la lectura.

**Tabla 3.2 Resultados de Método de Hidrómetro**

N° de Muestra	Tiempo	Temperatura	Lectura Hidrómetro	Lectura Corregida	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textual
1	40 segundos							
	2 horas							
2	40 segundos							
	2 horas							

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2.2 Densidad real-Método de Fiola (Picnómetro)

- Pesar 30gr de muestra seca tamizada.
- Trasvasar en una fiola totalmente seca de 100 cc.
- Llenar agua destilada con la ayuda de la bureta, dando giros para que de esta manera eliminar el aire del suelo.
- Registrar el gasto de agua.

### 3.2.2.3 Densidad Aparente-Método del Anillo

Tomar en el campo a estudiar una muestra de suelo con estructura inalterada, para ello se emplea el anillo metálico, el cual se introduce en el suelo (ya sea en la capa arable o por horizontes genéticos), y luego con la ayuda de un zapapico y de un cuchillo se extrae el anillo con la muestra de suelo, tratando que el suelo ocupe todo el volumen del anillo cortado a ras la muestra de suelo con ayuda del cuchillo.

La muestra así tomada, se introduce en una bolsa plástica y se lleva de inmediato al laboratorio, en donde empleando una estufa se seca la muestra a 107 °C por espacio de dos horas como mínimo.

Luego se saca de la estufa, se deja enfriar y se pesa primero la muestra con el anillo y luego el anillo.

Se determina el volumen del anillo, partiendo del diámetro y altura de este.

Para el trabajo utilizaremos la siguiente tabla.

**Tabla 3.3 Resultados de Método del Anillo**

N° de Muestra	Peso de suelo anillo(gr)	Peso del anillo (gr)	Peso del suelo (P gr.)	Volumen del anillo(V cm3)	Da=P/V
1					
2					
3					
.					
.					

Fuente: Elaboración Propia

#### **3.2.2.4 Humedad Gravimétrica-Método de la estufa**

- Tomamos una muestra de suelo y la colocamos en la lata, para luego presarla en la balanza.
- Ponemos la lata con la muestra de suelo en la estufa a una temperatura de 100 – 110 °C, por un periodo de 24 horas, para luego ser pesada nuevamente.

#### **3.2.2.5 Medición de pH**

- Colocar en un vaso de precipitado 15 g de suelo y 37,5 ml de agua destilada (Relación 1:2.5)
- Mantener en agitación durante 5 minutos.
- Medir el pH con el potenciómetro previamente calibrado, asegurar que la barra magnética no golpea al electrodo de vidrio.
- Al terminar enjuagar perfectamente el electrodo para eliminar todo exceso de partículas de suelo y secarlo con papel absorbente.

#### **3.2.2.6 Medición de Conductividad**

- Pesar 100 g de suelo y colocarlos en un vaso de precipitados, llevarlos al 100% de capacidad de retención de agua. Adicionar suficiente agua destilada hasta observar 2 mm de agua por encima de la superficie del suelo teniendo precaución de no hacer espuma.
- Tapar con papel aluminio y dejarlo reposar durante 24 horas en refrigeración.
- Decantar el agua, o en caso necesario, centrifugar a 5000 rpm durante 5 minutos para obtener el líquido.

- Colocar el líquido en un tubo de ensaye de 10 ml y con un conductímetro, medir la conductividad en miliSiemens (mS) de acuerdo a las indicaciones del profesor.

### **3.2.2.7 Medición de la Capacidad de Intercambio Cationico**

- Primero se emplea una solución concentrada de amonio para reemplazar y liberar los cationes propios del suelo, los cuales, de esta manera se pueden cuantificar individualmente en la solución sobrenadante. Nos han quedado entonces los  $\text{NH}_4$  adsorbidos al suelo, saturando todas las cargas negativas de éste.
- Luego se satura el suelo con sodio, empleando una solución de alta concentración de este catión, para reemplazar todos los  $\text{NH}_4$  adsorbidos (procedimiento efectuado en el paso anterior), por Na.
- Se elimina el sodio no adsorbido (y que han quedado en la solución sobrenadante) por lavados con etanol.
- Finalmente se extrae el sodio adsorbido por saturación del complejo con amonio. Los cationes amonio reemplazan a los de Na, quedando éstos en solución. La valoración del sodio en la solución extraída representa el total de cargas disponibles para el intercambio catiónico (CIC total o valor T).

### **3.2.2.8 Medición de las propiedades químicas del agua**

- Se determinara las cantidades de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y sodio ( $\text{Na}^{2+}$ ).
- Se determinara la conductividad eléctrica del agua.
- Se determinara el pH del agua.

## **3.2.3 TRABAJO DE GABINETE**

### **3.2.3.1 Levantamiento Topográfico**

Con las coordenadas obtenidas con la estación total, se transfirieron al Auto CAD Land 2009, para poder elaborar el plano y así poder tener el área exacta del proyecto.

### 3.2.3.2 Capacidad de Campo y Punto de Marchitez-Método del Tensiómetro.

Con los datos de tensión con su respectiva humedad se elaboró una gráfica de tensión ( eje de abscisas) vs humedad (eje de ordenada) y se determinó el punto de marchitez a una tensión de 15 atm y para la capacidad de campo a una tensión 1/3 atm.

### 3.2.3.3 Velocidad de infiltración-Método de Cilindros Infiltrómetros

De las pruebas de campo de infiltración, se obtienen finalmente datos de velocidad de infiltración (I) relacionados con el tiempo acumulado (T), por lo que con estos datos se realizó la gráfica de I vs T, se puede obtener la tendencia de la velocidad de infiltración a través del tiempo. Se hizo el ajuste al modelo de Kostiakov.

### 3.2.3.4 Determinación de la textura, mediante el Método del Hidrómetro o de Bouyoucos.

Para calcular el porcentaje de las fracciones de arena, limo y arcilla se empleó las siguientes formulas:

$$\% \text{ de Arena} = 100 - \frac{\text{Primera lectura corregida}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de Arcilla} = 100 - \frac{\text{Segunda lectura corregida}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de Arena} = 100 - (\% \text{ de Arena} + \% \text{ de Arcilla})$$

Una vez efectuados los cálculos y contando con los porcentajes de arena, limo y arcilla, se recurrió al triángulo de textura para determinar en él, la clase textual de cada muestra analizada.

### 3.2.3.5 Densidad real-Método de Fiola (Picnómetro)

Para obtener la densidad real se usó la siguiente fórmula:

$$V_s = 100 - \text{Gasto de agua}$$

$$D_r = \frac{P_s}{V_s}$$

Dónde:

Dr= densidad Real.

Ps=Peso Seco.

Vs=Volumen de suelo sin aire.

### **3.2.3.6 Densidad Aparente-Método del Anillo**

Con los datos obtenidos se procedió a los cálculos con los datos anotados en la tabla 3.12

### **3.2.3.7 Humedad Gravimétrica-Método de la Estufa**

Con los datos obtenidos en laboratorio se procedió a realizar los cálculos correspondientes utilizando la siguiente formula:

$$H(\%) = \left( \frac{Psh - Pss}{Pss} \right) * 100$$

Dónde:

H (%)=Porcentaje de Humedad

Psh=Peso del suelo Húmedo

Pss=Peso del suelo seco

### **3.2.3.8 Porosidad**

La porosidad total, es el espacio ocupado por el aire, el agua, las raíces de las plantas y los organismos del suelo.se determinaron con la siguiente fórmula:

$$Pt = \left( \frac{Dr - Da}{Dr} \right) * 100$$

Dónde:

Pt=Porosidad Total. En porcentaje

Dr=Densidad Real.

Da=Densidad Aparente.

### **3.2.3.9 Medición de pH**

No se realizara ningún cálculo porque el pH se realizó la lectura en el mismo laboratorio.

### **3.2.3.10 Medición de Conductividad**

No se realizó ningún cálculo porque la conductividad eléctrica se realizó la lectura en el mismo laboratorio.

### 3.2.3.11 Medición de la Capacidad de Intercambio Catiónico

No se realizó ningún cálculo porque se nos proporcionó en el laboratorio.

### 3.2.3.12 Medición de las propiedades químicas del agua

- Con los valores de la Relación de Adsorción de Sodio y la conductividad eléctrica se fue al gráfico de clasificación del agua de riego, según USDA (1956).
- Con los valores de las cantidades calcio ( $Ca^{2+}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ) y sodio ( $Na^{2+}$ ) se obtuvo el valor de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) con la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na^{2+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

La unidad del:

Calcio ( $Ca^{2+}$ ): meq/l

Magnesio ( $Mg^{2+}$ ): meq/l

Sodio ( $Na^{2+}$ ): meq/l

- La conductividad eléctrica del agua se midió directamente en el laboratorio.

### 3.2.3.13 Diseño de riego tecnificado

Con toda la información que se obtuvo tanto del suelo y agua se realizó el diseño de riego tecnificado para el cultivo de alfalfa.



## **CAPÍTULO IV**

### **4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1.1 RESULTADOS**

##### **a) DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

El presente proyecto de tesis, se realizó en el sector MITAPAMPA-IISAM-TINGUA, distrito de Mancos, Provincia de Yungay.

Geográficamente se encuentra localizado a  $91^{\circ} 11' 28''$  de latitud sur y  $77^{\circ} 42' 48''$  longitud oeste, a una altitud de 2492 m.s.n.m. Los terrenos pertenecen a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, a la cual se tiene acceso por la vía Huaraz – Caraz.

El abastecimiento de agua para el riego, se realiza por medio del Canal Mancos y Canal Santo Domingo, siendo ambos canales de tierra.

El tipo de riego que se practica es el de inundación para el cultivo de alfalfa y por surcos para el cultivo de chala.

##### **b) LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

El Levantamiento Topográfico se realizó con la ayuda del GPS GARMIN S76X y la estación total SOKKIA, se determinó el área total del terreno que es de 18 4311.55 m<sup>2</sup>

##### **c) PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.**

Se tomó las muestras de suelo realizando calicatas y se llevó las muestras al laboratorio de Suelo y Agua de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNSAM, el tipo de estructura se observó en campo, los resultados se muestran en los siguientes cuadros:

#### SECTORES N° 01, N° 02, N° 03 y N° 04

**Tabla 4.1 Propiedades Físicas de los Sectores N°01, N° 02, N° 03 y N° 04**

Descripción		Valor
	Arena (%)	32
Textura	Limo (%)	33
	Arcilla (%)	35
	Clase Textual	Franco Arcilloso
	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	1.35
	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	2.54
	Capacidad de Campo (%)	32.0 (Laboratorio), 36.55 (Tensiómetro)
	Punto de Marchitez (%)	13.0 (Laboratorio), 11.52 (Tensiómetro)
Presencia de Vertisoles con Estructura Prismática		

Fuente: Elaboración Propia

#### SECTOR N° 05

**Tabla 4.2 Propiedades Físicas del Sector N°05**

Descripción		Valor
	Arena (%)	22
Textura	Limo (%)	26
	Arcilla (%)	52
	Clase Textual	Arcilloso
	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	1.3
	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	2.49
	Capacidad de Campo (%)	36.0 (Laboratorio), 47.29 (Tensiómetro)
	Punto de Marchitez (%)	17.0 (Laboratorio), 17.11 (Tensiómetro)
Presencia de Vertisoles con Estructura Prismática		

Fuente: Elaboración Propia

#### SECTOR N° 06

**Tabla 4.3 Propiedades Físicas del Sector N°06**

Descripción		Valor
	Arena (%)	13
Textura	Limo (%)	34
	Arcilla (%)	53
	Clase Textual	Arcilloso
	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	1.3
	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	2.49
	Capacidad de Campo (%)	36.0 (Laboratorio), 47.29 (Tensiómetro)
	Punto de Marchitez (%)	17.0 (Laboratorio), 17.11 (Tensiómetro)
Presencia de Vertisoles con Estructura Prismática		

Fuente: Elaboración Propia

‡ SECTORES N° 07, N° 08 y N° 09

**Tabla 4.4 Propiedades Físicas de los Sectores N°07, N°08 y N°09**

Descripción		Valor
Textura	Arena (%)	29
	Limo (%)	32
	Arcilla (%)	39
Clase Textual		Franco Arcilloso
Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )		1.36
Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )		2.50
Capacidad de Campo (%)		32.0 (Laboratorio), 36.55 (Tensiómetro)
Punto de Marchitez (%)		13.0 (Laboratorio), 11.52 (Tensiómetro)
Presencia de Vertisoles con Estructura Prismática		

Fuente: Elaboración Propia

**d) PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.**

De las muestras de suelo llevadas al laboratorio también se obtuvo lo siguiente:

‡ SECTOR N° 01, N° 02, N° 03 Y N° 04

**Tabla 4.5 Propiedades Químicas de los Sectores N° 01, N° 02, N° 03 Y N° 04**

Descripción	Valor
pH	7.84
Materia Orgánica (%)	1.675
Nitrógeno (%)	0.084
Fosforo (ppm)	26
Potasio (ppm)	96
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.133

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.6 Cationes Cambiables de los Sectores N° 01, N° 02, N° 03 Y N° 04**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	H+Al (me/100gr.)	CIC (me/100gr.)
12.36	2.18	0.42	0.06	0.00	15.02

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.7 Cationes Solubles de los Sectores N° 01, N° 02, N° 03 Y N° 04**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
2.50	0.83	0.20	0.01	3.54

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.8 Aniones de los Sectores N° 01, N° 02, N° 03 Y N° 04**

Ca CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (me/100gr.)	Cl <sup>-</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
0.98	0.06	2.90	2.96

Fuente: Elaboración Propia

**SECTORES N° 05**

**Tabla 4.9 Propiedades Químicas del Sector N° 05**

Descripción	Valor
pH	7.90
Materia Orgánica (%)	1.541
Nitrógeno (%)	0.077
Fosforo (ppm)	32
Potasio (ppm)	108
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.135

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.10 Cationes Cambiables del Sector N° 05**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	H+Al (me/100gr.)	CIC (me/100gr.)
12.76	2.22	0.44	0.05	0.00	15.47

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.11 Cationes Solubles del Sector N° 05**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
2.57	0.85	0.22	0.02	3.66

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.12 Aniones del Sector N° 05**

Ca CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (me/100gr.)	Cl <sup>-</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
1.02	0.85	0.22	3.66

Fuente: Elaboración Propia

#### SECTORES N° 06

**Tabla 4.13 Propiedades Químicas del Sector N° 06**

Descripción	Valor
pH	8.28
Materia Orgánica (%)	1.206
Nitrógeno (%)	0.060
Fosforo (ppm)	27
Potasio (ppm)	112
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.152

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.14 Cationes Cambiables del Sector N° 06**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	H+Al (me/100gr.)	CIC (me/100gr.)
13.09	2.28	0.42	0.06	0.00	15.85

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.15 Cationes Solubles del Sector N° 06**

Ca <sup>+2</sup> (me/100gr.)	Mg <sup>+2</sup> (me/100gr.)	K <sup>+</sup> (me/100gr.)	Na <sup>+</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
2.55	0.80	0.20	0.02	3.57

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 4.16 Aniones del Sector N° 06**

Ca CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (me/100gr.)	Cl <sup>-</sup> (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
3.12	0.02	2.90	2.92

Fuente: Elaboración Propia

#### SECTORES N° 07, N°08 y N°09

**Tabla 4.17 Propiedades Químicas de los Sectores N° 07, N°08 y N°09**

Descripción	Valor
pH	8.10
Materia Orgánica (%)	1.876
Nitrógeno (%)	0.094
Fosforo (ppm)	32
Potasio (ppm)	116
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.297

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.18 Cationes Cambiables de los Sectores N° 07, N°08 y N°09**

$Ca^{+2}$ (me/100gr.)	$Mg^{+2}$ (me/100gr.)	$K^{+}$ (me/100gr.)	$Na^{+}$ (me/100gr.)	H+Al (me/100gr.)	CIC (me/100gr.)
12.89	2.18	0.37	0.08	0.00	15.52

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.19 Cationes Solubles de los Sectores N° 07, N°08 y N°09**

$Ca^{+2}$ (me/100gr.)	$Mg^{+2}$ (me/100gr.)	$K^{+}$ (me/100gr.)	$Na^{+}$ (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
2.44	0.75	0.16	0.02	3.37

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla4.20 Aniones de los Sectores N° 07, N°08 y N°09**

$Ca CO_3^{-}$ (%)	$SO_4^{-}$ (me/100gr.)	$Cl^{-}$ (me/100gr.)	Suma (me/100gr.)
0.90	0.03	2.86	2.89

Fuente: Elaboración Propia

**e) PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA**

Se observaciones en campo obteniéndose lo siguiente:

**Canal Mancos**

Color = Incoloro

Olor= Inodoro

Sabor = Insípido

**Canal Santo Domingo**

Color = Incoloro

Olor= Inodoro

Sabor = Insípido

**f) PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA.**

Se tomó muestras de agua de los canales y se llevó al laboratorio de Suelo y Agua de la Facultad de Ciencias Agrarias –UNASAM. Donde se obtuvo lo siguiente:

#### ‡ Canal Mancos

**Tabla4.21 Propiedades Químicas del agua del Canal Mancos**

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
pH	6.53
Conductividad Eléctrica ( dS/m)	0.11
Calcio (me/l)	2.72
Magnesio (me/l)	0.83
Potasio (me/l)	0.06
Sodio (me/l)	0.01
<b>Suma de Cationes</b>	<b>3.62</b>
Sulfatos (me/l)	0.25
Cloruros (me/l)	3.1
<b>Suma de Aniones</b>	<b>3.35</b>
Sodio (%)	0.28
RAS	0.01
<b>Clasificación</b>	<b>C 1 S 1</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### ‡ Canal Santo Domingo

**Tabla4.22 Propiedades Químicas del agua del Canal Santo Domingo**

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
pH	5.96
Conductividad Eléctrica ( dS/m)	0.39
Calcio (me/l)	2.61
Magnesio (me/l)	0.79
Potasio (me/l)	0.05
Sodio (me/l)	0.03
<b>Suma de Cationes</b>	<b>3.48</b>
Sulfatos (me/l)	0.38
Cloruros (me/l)	3.04
<b>Suma de Aniones</b>	<b>3.42</b>
Sodio (%)	0.86
RAS	0.02
<b>Clasificación</b>	<b>C 2 S 1</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### **g) DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE, CON EL MÉTODO DEL TENSÍOMETRO.**

Conociendo el tipo de suelo, se instaló el tensiómetro en puntos medios de los terrenos con las mismas características.

Con los datos obtenidos de, lectura de tensiómetro, muestra de suelo y el contenido de humedad en el laboratorio, se determinó los parámetros deseados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. (Ver Anexo N° 01); que son los siguientes:

Suelo arcilloso: Capacidad de Campo es 47.29 % y Punto de Marchitez Permanente es 17.11%

Suelo Franco – Arcilloso: Capacidad de Campo es 36.55% y Punto de Marchitez Permanente es 11.52%.

## **h) VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN**

Conociendo el tipo de suelo, se instaló el cilindro infiltrometro en puntos medios de los terrenos con las mismas características. (Ver Anexo N° 06)

Con los datos obtenidos de lámina infiltrada y tiempo se obtuvo lo siguiente:

Suelo Arcilloso: La Velocidad de Infiltración es 2.5 cm/hr.

Suelo Franco – Arcilloso: La Velocidad de Infiltración es 1.47 cm/h

## **i) DISEÑO DEL RIEGO TECNIFICADO.**

### **1. Determinación de la Evaporación de Cultivo**

En la determinación climatológica de la zona del proyecto se consideró los datos agro-meteorológicos de la estación meteorológica Tingua, en la se determinó que el mes de mayor consumo de agua es Diciembre con una evaporación media mensual de 174.47 mm y una evaporación diaria de cultivo de 5.63 mm (Ver Anexo N° 02 )

### **2. Demanda de Agua**

Con los datos de Evaporación de Cultivo por mes (Ver Anexo N° 02) y los datos de Precipitación Generados (Ver Anexo N° 03), se determinó la Demanda de Agua (Ver Anexo N° 04), siendo el Caudal de Demanda 16.00 lt/s



### **3. Oferta de Agua**

Se aforaron los canales por el método del flotador, con los datos obtenidos se obtuvieron los siguientes caudales. (Ver Anexo N° 05).

Canal Mancos: 10.58 lt/s

Canal Santo Domingo: 21.65 lt/s

El aforo se realizó en el mes de Octubre.

### **4. Diseño Agronómico**

Con los resultados anteriormente obtenidos se procedió a realizar el Diseño Agronómico (Ver Anexo N° 07). Obteniéndose lo siguiente:

Para los sectores N° 05 y N° 06 (Suelo Arcilloso): Lamina Neta 14.82 cm, Lamina Bruta 21.17 cm, Intervalo de Riego 25 días, aspersor NAAN 334/92 de caudal nominal de 2.45 m<sup>3</sup>/h con marco de aspersión de 12x12 metros Tiempo de Riego 13 horas.

Para los sectores N° 04, N° 07, N° 08 y N° 09 (Suelo Franco Arcilloso): Lamina Neta 15.5 cm, Lamina Bruta 22.15 cm, Intervalo de Riego 26 días, aspersor NAAN 233/91 de caudal nominal de 1.76 m<sup>3</sup>/h con marco de aspersión de 12x12 metros con un Tiempo de Riego de 19 horas.

### **5. Diseño Hidráulico**

Una vez realizado el diseño agronómico donde se seleccionó el tipo de aspersor con su respectivo caudal nominal, se realizaron los cálculos de diámetro para las tuberías (Ver Anexo N° 08). Obteniéndose lo siguientes:

- La Tubería de Aducción para los Sectores N° 05 y N° 06 (Suelo Arcilloso), tiene un diámetro de 160mm que transporta un caudal de 23.14 lt/s.
- La Tubería de Derivación, de los puntos A, B y C (Ver Plano Diseño Hidráulico) tiene un diámetro de 125mm, que transportan un caudal de 23.14 lt/s

- El Lateral o Ala tiene un diámetro de 110 mm que transporta un caudal de 23.14 lt/s para el funcionamiento de dos laterales con 17 aspersores cada lateral.
- La Tubería de Aducción para los Sectores N° 04, N° 07, y N° 09 (Suelo Franco Arcilloso), tiene un diámetro de 110mm que transporta un caudal de 8.80 lt/s.
  - La Tubería de Derivación, de los puntos D, E, F y G (Ver Plano Diseño Hidráulico) tiene un diámetro de 90mm, que transportan un caudal de 8.80 lt/s
  - El Lateral o Ala tiene un diámetro de 63 mm que transporta un caudal de 8.80 lt/s para el funcionamiento de dos laterales con 9 aspersores cada lateral.

#### 4.1.2 DISCUSIÓN

- a. Las clases texturales que presentan los suelos de Mitapampa son Arcilloso y Franco-Arcilloso según los resultados obtenidos en laboratorio.
- b. Hay presencia de Vertisoles con estructura primática, esto debido a que no se tiene un buen drenaje y por la textura que poseen estos suelos.
- c. Los valores obtenidos por el método del tensiómetro y en laboratorio de Capacidad de Campo del suelo Arcilloso difieren en un 11% y del Franco Arcilloso en un 5 %. Los valores obtenidos por el método del tensiómetro y en laboratorio del Punto de Marchitez Permanente del suelo Arcilloso se aproximan y Franco Arcilloso difieren en un 1.5 %.
- d. La velocidad de infiltración en el suelo Franco –Arcilloso que es de 1.47 cm/h, es aceptable por encontrarse dentro de los valores dados en la Tabla 2.2 y La velocidad de infiltración en el suelo Arcilloso que es de 2.5 cm/h, es elevado comparado con los valores dados en la Tabla 2.2, esto debido a la presencia de vertisoles.
- e. El nivel de pH de suelo Arcilloso que varía de 7.9 a 8.28 y del Franco – Arcilloso que varía de 7.84 a 8.10, es elevado para el cultivo de alfalfa, según los valores recomendados para el cultivo de alfalfa (Ver Tabla 2.5) y (Ver Tabla 2.13). Por los niveles de pH ambos suelos son alcalinos

pero en un grado muy débil según Manejo de Fertilidad de Suelos (Ver Figura 2.9).

- f. Los niveles de fosforo que varía de 26 a 32 ppm para el suelo Franco – Arcilloso y de 27 a 32 ppm para el suelo Arcilloso, están por debajo de los valores recomendados para el cultivo de alfalfa (Ver Tabla 2.14)
- g. Los niveles de potasio que varía 96 a 116 ppm para el suelo Franco Arcilloso y de 108 a 112 ppm para el suelo Arcilloso, están por debajo de los valores recomendados para el cultivo de alfalfa. (Ver Tabla 2.14)
- h. Los valores de conductividad eléctrica que varían de 0.133 a 0.297 dS/m. del suelo Franco Arcilloso y 0.135 a 0.152 dS/m. del suelo Arcilloso ,muestran que los suelos no tienen problemas de salinidad según el Manual de Edafología (Ver Tabla 2.6)
- i. La Capacidad de Intercambio Catiónico que varía de 15.02 a 15.52 me/100gr del suelo Franco –Arcilloso y de 15.47 a 15.85 me/100gr del suelo Arcilloso, está dentro de los valores recomendados por Bustillos Exequiel para el cultivo de alfalfa.
- j. El agua del Canal Mancos no presenta problemas de salinidad y tiene una reacción ligeramente acida, por lo que es apta para el riego.
- k. El agua del Canal Santo Domingo, presenta problemas de salinidad moderada pero baja en sodio y tiene una reacción moderadamente acida, por lo que se puede usar para riego.
- l. En la demanda de agua del proyecto es de 16 lt/s, y la oferta de agua de 32.14 lt/s. por lo que no será necesario abastecer de mayor cantidad de agua.
- m. En el diseño de riego tecnificado, se propone la cota de 2540 m.s.n.m para la ubicación de la cámara de carga.

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.1. Conclusiones

- a) Las texturas que presenta los terrenos de Mitapampa son Arcillosa y Franco – Arcillosa, presentándose vertisoles con estructura prismática.

Para el suelo Arcilloso la Capacidad de Campo es de 36 % y Punto de Marchitez Permanente es de 17 % y para el suelo Franco - Arcilloso la Capacidad de Campo es de 32 % y Punto de Marchitez Permanente es de 13%, estos valores fueron obtenidos en laboratorio.

La velocidad de infiltración para el suelo Arcilloso de 2.50 cm/h y para el suelo Franco – Arcilloso es de 1.47 cm/h.

Las aguas del Canal Mancos y Santo Domingo, son incoloras, inodoras e insípidas, presenta transporte de sedimentos, por ser canales de tierra.

Las características físicas del suelo son favorables para el cultivo de alfalfa y las características físicas del agua no afectan el desarrollo del cultivo.

- b) El ph varía de 7.9 a 8.28 del suelo Arcilloso y varía de 7.84 a 8.10 para el suelo Franco – Arcilloso.

El nivel de fosforo varía de 26 a 32 ppm del suelo Franco – Arcilloso y varía de 27 a 32 ppm del suelo Arcilloso.

El nivel de potasio varía de 96 a 116 ppm del suelo Franco – Arcilloso y varía de 108 a 112 ppm del suelo Arcilloso.

El nivel de sodio varía de 0.06 a 0.08 me/100gr para el suelo Franco – Arcilloso y varía de 0.01 a 0.05 me/100 gr. para el suelo Arcilloso.

El pH del agua del Canal Mancos es 6.53 y del Canal Santo Domingo es 5.96

La conductividad eléctrica del agua del Canal Mancos es 0.11 dS/m y del Canal Santo Domingo es 0.39 dS/m.

La clasificación del agua River Side del Canal Mancos es C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> y del Canal Santo Domingo es C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>.

Las propiedades químicas del suelo no son adecuadas para obtener un alto rendimiento en la producción de alfalfa.

Las propiedades químicas de agua del Canal Mancos son adecuadas para el cultivo de alfalfa y del Canal Santo Domingo son adecuados, pero teniendo cierta precaución, por ser moderadamente salina.

- c) Para el suelo Arcilloso la Lamina neta es 14.82 cm, Lamina Bruta 21.17 cm con intervalo de riego de 25 días y para el suelo Franco –Arcilloso la Lamina neta es 15.5 cm, Lamina Bruta 22.15 cm con intervalo de riego de 27 días. El caudal que transporta la Tubería de Aducción es de 23.14 lt/s para el riego de los sectores 5 y 6. El caudal que transporta la Tubería de Aducción es de 8.8 lt/s para el riego de los sectores 4,7 y 9.

### **5.1.2. Recomendaciones**

- a) Para poder tener mejores resultados con respecto a la Capacidad de Campo y Punto de marchitez Permanente, es necesario tener instalado tensiómetros en forma permanente calibrado para la zona del proyecto, además de realizar las mediciones de humedad con equipos TDR (Reflector Distan Time), que muestran resultados inmediatos.
- b) Se debe realizar análisis de suelos periódicamente.
- c) Se deben mejorar las concentraciones de fosforo y potasio, mediante fertilizaciones adecuadas, para mejorar los niveles de rendimiento de producción de alfalfa.
- d) Es necesario que se mejoren los sistemas de drenaje de los terrenos de Mitapampa.
- e) Se debe realizar más investigaciones sobre caracterización de suelo y agua en terrenos potencialmente ganaderos, para que se pueda tener un mejor manejo de los recursos naturales y una mejor producción.

## CAPÍTULO VI

### 6.1. BIBLIOGRAFÍA

- **AMEZQUETA J., IRAÑETA J., SANCHEZ L., MALUMBRES A., DELGADO A. (2011).** Agricultura, Fertilización y Medio Ambiente. Navarra – España . Tomado de Internet  
<http://www.unizar.es/centros/eps/doc/ValoracionMateriasOrganicas.pdf>.  
*Consultado el 14/10/2013.*
- **BOLIANGA IBARRONDO Juan José (1999).** Proyectos de Ingeniería Hidráulica. Caracas- Venezuela. *Consultado el 15/11/2013.*
- **BREÑA PUYOL A.F., JACOBO VILLA M.A. (2006).** Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana, México. Tomado de Internet  
[http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios\\_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf](http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf). *Consultado el 13/05/2013.*
- **BURGCOR.** Sistemas de Riego Tecnificado. Lima -Perú. Tomado de [http://www.burgcomperu.com/sistemas\\_de\\_riego\\_tecnificado.html](http://www.burgcomperu.com/sistemas_de_riego_tecnificado.html).  
*Consultado en Línea el 10/06/2013.*
- **BUSTILLO Exequiel. (2013).** Pasturas y Forrajeras. Buenos Aires – Argentina. Tomado de <http://www.pasturasyforrajeras.com/alfalfa/alfalfa-bajo-riego/plan-de-riego/cuanto-aplicar>. *Consultado en línea el 4/06/2013.*
- **DOUGLAS MATA R., ILDEFONSO PLASENTIS. (1991).** Caracterización de los problemas de salinidad de suelos y aguas en cuatro zonas de la cuenca del lago de Maracaibo. Facultad de Agronomía. La

Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Tomado de internet [http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas\\_ci/Agronomia%20Tropical/at4212/Arti/mata\\_d.htm](http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4212/Arti/mata_d.htm). Consultado 27/10/2013.

- **FERNÁNDEZ R., OYONARTE N., GARCÍA, J. (2010).**Manual de Riego para Agricultores, Modulo 1 Fundamentos de Riego. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesca. Sevilla España. Consultado el 25/05/2013.
- **FRANCO SALAS A., URRESTARAZU PÉREZ L.** Hidráulica y Riego. Universidad de Sevilla. Sevilla-España. Tomado en línea de: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page\\_12.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_12.htm) Consultado el 01/07/2013.
- **FLORES DELGADILLO Lourdes. (2009).**Manual de Procedimientos Analíticos .Departamento de Edafología .Universidad Nacional Autónoma de México. Tomado del Internet <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>. Consultado el 14/03/2013.
- **FUENTES, Y. José, (2003).**Técnicas de Riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid – España. Consultado el 22/06/2013.
- **JIMÉNEZ STEER, I., RODRÍGUEZ DOMÍNGUEZ, L. (2008).** “Diagnóstico de la infiltración y permeabilidad en los suelos de la zona de recarga del acuífero morroa en el área Sincelejo, corozal y morroa.”(Tesis). PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA SINCELEJO. UNIVERSIDAD DE SUCRE. Sucre-Colombia. Tomado de internet <http://biblioteca.unisucra.edu.co:8080/dspace/bitstream/123456789/287/1/551.49J61.pdf>. Consultado 14/10/2013.

- **LÓPEZ Antonio Jordán. (2005).**Manual de Edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla, España. Tomado de Internet  
<http://libnet.unse.edu.ar/1bi/ba/cefaya/cdig/000005.pdf>. Consultado el 20/03/2013.
- **MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS, (2011).**Cadena Agro productiva de Papa. Lima-Perú. Tomado de Internet  
<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>. Consultado el 10/05/2013.
- **OFICINA NACIONAL D EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (ONERN-1973).** “Estudio de Suelos del Callejón de Huaylas (Semidetallado)”.Lima-Perú. Consultado 24/10/2013.
- **PROYECTO DE AUTOGESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA, (2005).**Curso de Riego para Agricultores. Castilla la Mancha- España. Tomado del internet  
[http://assets.wwf.es/downloads/curso\\_de\\_riego\\_definitivo.pdf](http://assets.wwf.es/downloads/curso_de_riego_definitivo.pdf). Consultado el 01/05/2013.
- **REYES MENDOZA, O. (2010).** “Caracterización del estado actual de los suelos del Departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010.”(Tesis). Carrera de Agroecología Tropical. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua –León. Tomado de internet  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/caracterizacion-fisica-suelos/caracterizacion-fisica-suelos.pdf>. Consultado 22/10/2013..
- **ROBERTO M. Alfonso. (2012).**Importancia de un buen análisis de suelos. Tomado de Internet  
<http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=20311>. Consultado en línea el 26/02/2013.



- **RUCKS. L., GARCÍA. F., KAPLÁN. A., PONCE DE LEÓN. J., Hill. M., (2004).**Propiedades Físicas del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica, Montevideo-Uruguay. (Tomado del internet <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FI%20SICAS/fisicas.pdf>. Consultado el 30/04/2013.
- **SMART – FERTILEZER. (2013).**Capacidad de Intercambio Catiónico. Tomado de Internet <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/Capacidad-Intercambio-Cationico>. Consultado en Línea el 12/09/2013.

## ANEXO N° 01

### DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ POR EL METODO DEL TENSIÓMETRO.

Se instaló el tensiómetro, por cada día se tomó la lectura en el tensiómetro y se tomó una muestra de suelo para determinar la humedad.

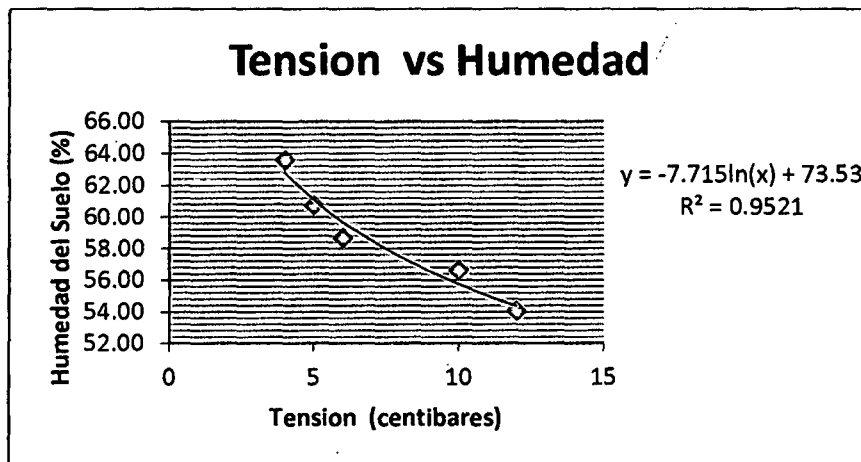
#### SUELO ARCILLOSO

**Tabla 6.1 Datos de Tensión y Humedad del Suelo Arcilloso**

Día	Peso de Lata (gr)	Peso de Lata + Peso de Suelo Húmedo (gr)	Peso de Lata + Peso de Suelo Seco (gr)	Humedad (%)	Tensión (centibar)
1	23	109,59	79,206	54,08	12
2	23	128,59	90,42	56,63	10
3	23	106,50	74,948	60,76	5
4	23	129,17	89,91	58,69	6
5	23	126,83	86,47	63,61	4

Fuente: Elaboración Propia

Graficamos Tensión VS Humedad y aproximamos los puntos a una ecuación logarítmica.



**Figura 6.1 Grafica de Tensión vs Humedad del Suelo Arcilloso**

Fuente: Elaboración Propia

Con la ecuación:

$$H = -7.715 \ln(T) + 73.53$$

Dónde: H (%) = Humedad del suelo en porcentaje

T= Tensión en centibares

Calculamos el contenido de humedad para las tensiones de 30 centibares, que corresponde a la Capacidad de Campo y 1500 centibares, que corresponde al Punto de marchitez Permanente.

**Tabla 6.2 Resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez del Suelo Arcilloso**

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (cb)	HUMEDAD (%)
Capacidad de Campo	30	47,29
Punto de Marchitez Permanente	1500	17,11

Fuente: Elaboración Propia

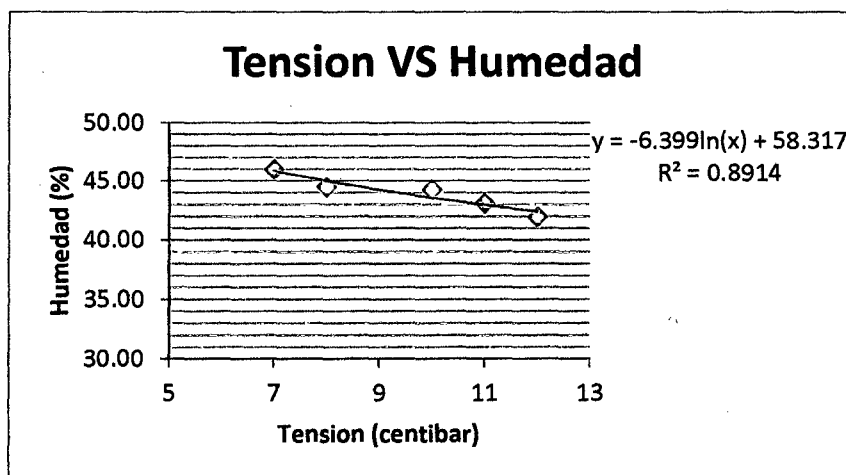
### SUELO FRANCO - ARCILLOSO

**Tabla 6.3 Datos de Tensión y Humedad del Suelo Franco - Arcilloso**

Día	Peso de Lata (gr)	Peso de Lata + Peso de Suelo Húmedo (gr)	Peso de Lata + Peso de Suelo Seco (gr)	Humedad (%)	Tensión (centibar)
1	23	117,42	87,679	45,99	7
2	23	135,26	100,698	44,50	8
3	23	86,36	66,92	44,28	10
4	23	120,56	91,17	43,13	11
5	23	118,13	90,02	41,96	12

Fuente: Elaboración Propia

Graficamos Tensión VS Humedad y aproximamos los puntos a una ecuación logarítmica.



**Figura 6.2 Grafica de Tensión vs Humedad del Suelo Franco -Arcilloso**

Fuente: Elaboración Propia

Con la ecuación:

$$H = -6.39 \ln(T) + 58.32$$

Dónde: H (%) = Humedad del suelo en porcentaje

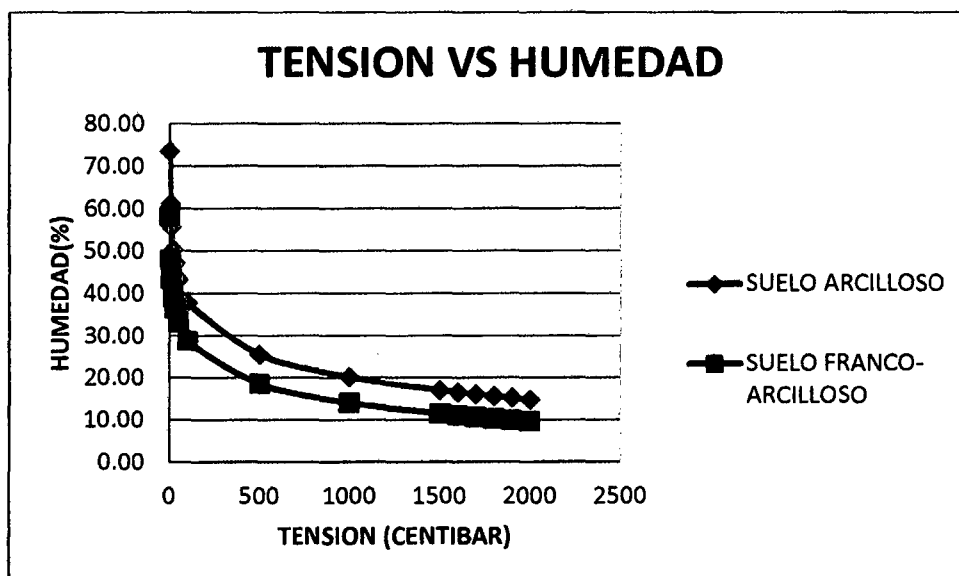
T= Tensión en centibares

Calculamos el contenido de humedad para las tensiones de 30 centibares, que corresponde a la Capacidad de Campo y 1500 centibares, que corresponde al Punto de marchitez Permanente.

**Tabla 6.4 Resultados de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez del Suelo Franco Arcilloso**

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (cb)	HUMEDAD (%)
Capacidad de Campo	30	36,55
Punto de Marchitez Permanente	1500	11,52

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 6.3 Grafica de Tensión vs Humedad del Suelo Arcilloso y Franco – Arcilloso.**

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO N°02

### EVAPORACIÓN DEL CULTIVO

Para el cálculo de la Evaporación Potencial se utilizaron los datos de la Estación Meteorológica de la Estación Tingua y se usó el software CROPWAT 8.0

**Tabla 6.5 Evaporación Potencial Mensual**

MES	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Humedad (%)	Viento (m/s)	Insolación (horas)	Rad (MJ/m2/día)	Eto (mm/mes)
Enero	11,8	24,4	65	2,3	12,6	29,6	173,55
Febrero	11,7	22,4	73	1,9	12,4	29,5	144,4
Marzo	11,6	21,8	77	1,8	12,1	29,4	148,2
Abril	11,1	23,5	65	2,2	11,8	26,1	142,92
Mayo	9,1	26	59	2,2	11,6	23,6	144,08
Junio	7,8	27,3	52	2,5	11,5	22,3	144,36
Julio	7,7	26,7	47	2,5	11,6	22,9	153,72
Agosto	7,9	27,1	48	2,6	11,8	25	168,62
Septiembre	8,8	26	51	2,6	12	27,4	170,56
Octubre	11,2	24,8	60	2,5	12,3	29	174,32
Noviembre	11,9	25,3	68	2	12,6	29,5	166,17
Diciembre	11,4	25,2	64	2,1	12,7	29,6	174,47

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO N°03 PRECIPITACIÓN

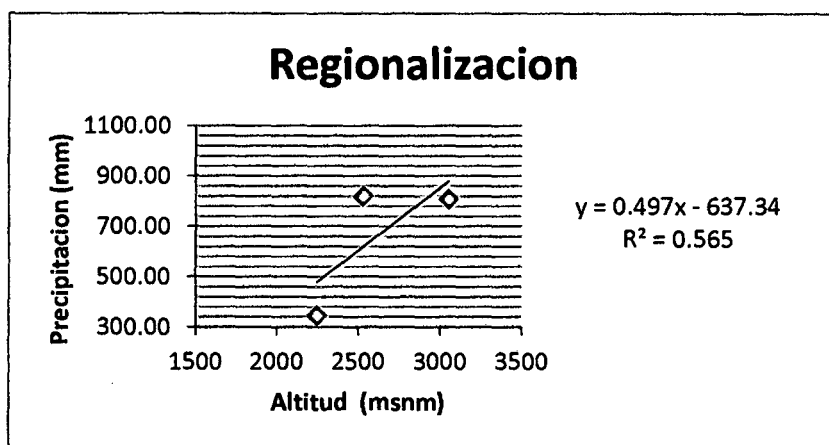
Datos de Precipitación

**Tabla 6.6 Datos de Precipitación**

Estación	Altitud (m)	PTA (mm)
Caraz	2247	347,19
Yungay	2527	821,23
Huaraz	3052	808,96

Fuente: SENAMHI

Regionalizando:



**Figura 6.4 Grafico de Altitud vs Precipitación**

Fuente: Elaboración Propia

$Pp(mm) = 0.497 * H - 637.34$  Con un coeficiente de correlación  $R=0.75$

Para el sector Mitapampa-IISAM para una  $H=2492$  obtenemos  $PP. (mm)=601.18$

Tomando como estación base a Yungay obtenemos un factor de corrección  $f=0.73$

**Tabla 6.7 Datos de precipitación de la Estación Yungay. Precipitación en mm.**

Año	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
2003	213,4	135	135,4	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	20,6	142,5	671,5
2004	45,8	177,4	58	71,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	107,8	81	69,1	617,5
2005	39,5	93,9	179,5	64,7	2,0	0,0	0,0	0,0	13,8	22	0,0	113	528,4
2006	60,4	157,7	291	188,2	0,0	3,4	0,0	2,6	4,3	13,6	59,9	240	1021,1
2007	78,3	27,3	474,2	182,9	38,4	0,0	0,0	3,1	5,5	75,3	78,8	46,2	1010
2008	119,9	119,8	235,2	98,1	9,2	15,4	0,0	0,0	1,1	119,4	71,2	19,4	808,7
2009	212,9	131,4	207,5	107,4	12,8	0,0	0,0	1,8	0,0	172,5	110,2	71,9	1028,4
2010	63,7	120,4	137,8	74,6	26,1	4,2	0,0	0,0	4,2	23,5	159,3	191,1	804,9
2011	133,6	27,9	183,6	236,4	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	3,6	50	281,7	928,9
2012	91,2	136,6	146	108,1	20,4	0,0	0,0	0,0	26,9	60,5	87	116,2	792,9
<b>Promedio</b>	<b>105,87</b>	<b>112,74</b>	<b>204,82</b>	<b>115,33</b>	<b>10,89</b>	<b>2,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,75</b>	<b>7,48</b>	<b>60,14</b>	<b>71,8</b>	<b>129,11</b>	<b>821,23</b>

Fuente: SENAMHI

**Tabla 6.8 Datos Generados para la Estación Mitapampa. Precipitación en mm.**

Año	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2003	156,22	98,83	99,12	15,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,34	15,08	104,32
2004	33,53	129,87	42,46	52,34	0,00	0,00	0,00	0,00	5,05	78,92	59,30	50,58
2005	28,92	68,74	131,40	47,36	1,46	0,00	0,00	0,00	10,10	16,11	0,00	82,72
2006	44,22	115,44	213,03	137,77	0,00	2,49	0,00	1,90	3,15	9,96	43,85	175,69
2007	57,32	19,99	347,14	133,89	28,11	0,00	0,00	2,27	4,03	55,12	57,69	33,82
2008	87,77	87,70	172,18	71,81	6,73	11,27	0,00	0,00	0,81	87,41	52,12	14,20
2009	155,85	96,19	151,90	78,62	9,37	0,00	0,00	1,32	0,00	126,28	80,67	52,63
2010	46,63	88,14	100,88	54,61	19,11	3,07	0,00	0,00	3,07	17,20	116,62	139,90
2011	97,80	20,42	134,40	173,06	0,00	0,00	0,00	0,00	8,86	2,64	36,60	206,22
2012	66,76	100,00	106,88	79,13	14,93	0,00	0,00	0,00	19,69	44,29	63,69	85,06

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.9 Calculo de la Precipitación al 75% de persistencia. Precipitación en mm.**

N f (%)	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1 9,09	156,22	129,87	347,14	173,06	28,11	11,27	0,00	2,27	19,69	126,28	116,62	206,22
2 18,18	155,85	115,44	213,03	137,77	19,11	3,07	0,00	1,90	10,10	87,41	80,67	175,69
3 27,27	97,80	100,00	172,18	133,89	14,93	2,49	0,00	1,32	8,86	78,92	63,69	139,90
4 36,36	87,77	98,83	151,90	79,13	9,37	0,00	0,00	0,00	5,05	55,12	59,30	104,32
5 45,45	66,76	96,19	134,40	78,62	6,73	0,00	0,00	0,00	4,03	44,29	57,69	85,06
6 54,55	57,32	88,14	131,40	71,81	1,46	0,00	0,00	0,00	3,15	17,20	52,12	82,72
7 63,64	46,63	87,70	106,88	54,61	0,00	0,00	0,00	0,00	3,07	16,11	43,85	52,63
8 72,73	44,22	68,74	100,88	52,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	9,96	36,60	50,58
9 81,82	33,53	20,42	99,12	47,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,64	15,08	33,82
10 90,91	28,92	19,99	42,46	15,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,34	0,00	14,20

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.10 Precipitación al 75% de persistencia.**

f(%)	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
75	41,55	56,67	100,44	51,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	8,13	31,23	46,40

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.11 Precipitación Efectiva por el método USDA S.C. utilizando el software CROPWAT 8.0**

	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación (mm)	41,55	56,67	100,44	51,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	8,13	31,23	46,40
Precipitación Efectiva	38,80	51,50	84,30	46,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	8,00	29,70	43,00

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO N°04

### DEMANDA DE AGUA

**Tabla 6.12 Cedula de Cultivo**

Cultivo	Área(Ha)	Ene	Feb.	Mar	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Alfalfa	12,44	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Chala	4,61	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
<b>Total</b>	<b>17,05</b>	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05	17,05

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.13 Coeficiente de Cultivo**

Cultivo de referencia	Área Parcial (Ha)	Kc											
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Ago	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Alfalfa	12.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
chala	4,61	0.80	1.15	1.10	0.40	0.80	1.15	1.10	0.40	0.80	1.15	1.10	0.40
<b>Área Total</b>	<b>17,05</b>												

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.14 Coeficiente de Cultivo Ponderado**

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Kc Ponderado</b>	0,94	0,97	1,00	0,86	0,94	0,97	1,00	0,86	0,94	0,97	1,00	0,86

Fuente: Elaboración Propia

Demanda de agua del proyecto:

- El módulo de riego máxima es 0.925 lt/s/ha
- El caudal de Diseño es de 15.77 lt/s

La eficiencia de aplicación de riego que se utilizo es del 70 % (riego por aspersión)

El número de horas de riego que se utilizo es de 24 horas

Los cálculos se muestran en la Tabla 6.15



## ANEXO N°05

### OFERTA DE AGUA

El sector Mitapampa es abastecido por dos canales: Canal Mancos y Canal Santo Domingo

#### CANAL MANCOS

Procedencia: Rio Mancos

Coordenadas de toma de muestra:

Norte: 8981434 m.

Este: 204021m.

Altitud: 2495 msnm.

**Tabla 6.16 Sección del Canal Mancos**

N°	Base (m)	Altura (m)	Tirante(m)	Área total(m2)	Área Mojada(m2)
1	0,73	0,26	0,06	0,190	0,044
2	0,66	0,27	0,07	0,178	0,046
3	0,7	0,34	0,065	0,238	0,046
4	0,66	0,36	0,07	0,238	0,046
5	0,68	0,38	0,06	0,258	0,041

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.17 Velocidad de Flujo del Canal Mancos**

N°	Longitud (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
1	3	12,4	0,242
2	3	12,88	0,233
3	3	12,86	0,233
4	3	11,93	0,251
5	3	13,16	0,228

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.18 Calculo de Caudal del Canal Mancos**

N°	Q (m3/s) Calculado	Q (m3/s) Aforado	Q (lt/s) Calculado	Q (lt/s) Aforado
1	0,046	0,0106	45,92	10,60
2	0,042	0,0108	41,51	10,76
3	0,056	0,0106	55,52	10,61
4	0,060	0,0116	59,75	11,62
5	0,059	0,0093	58,91	9,30
<b>Promedio</b>	<b>0,052</b>	<b>0,011</b>	<b>52,320</b>	<b>10,58</b>

Fuente: Elaboración Propia

El caudal aforado es de 10.58 lt/s

## CANAL SANTO DOMINGO

Procedencia: Rio Mishqui

Coordenadas de toma de muestra:

Norte: 8979689 m.

Este: 204872 m.

Altitud: 2514 msnm.

**Tabla 6.19 Sección del Canal Santo Domingo**

Nº	Base (m)	Altura (m)	Tirante(m)	Área total	Área Mojada
1	0.7	0.25	0.1	0.175	0.070
2	0.65	0.35	0.09	0.228	0.059
3	0.64	0.64	0.07	0.410	0.045
4	0.6	0.8	0.07	0.480	0.042
5	0.68	0.76	0.08	0.517	0.054

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.20 Velocidad de Flujo del Canal Santo Domingo**

Nº	Longitud (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
1	3	7,19	0,417
2	3	7,73	0,388
3	3	7,01	0,428
4	3	7,92	0,379
5	3	7,67	0,391

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6.21 Calculo de Caudal del Canal Santo Domingo**

Nº	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (lt/s)	Q (lt/s)
	Calculado	Aforado	Calculado	Aforado
1	0.073	0.0292	73.02	29.21
2	0.088	0.0227	88.29	22.70
3	0.175	0.0192	175.29	19.17
4	0.182	0.0159	181.82	15.91
5	0.202	0.0213	202.14	21.28
Promedio	0.144	0.022	144.112	21.65

Fuente: Elaboración Propia

El caudal aforado es de 21.65 lt/s

ANEXO N°06

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN  
SUELO ARCILLOSO

Tabla 6.22 Datos de Lamina Infiltrada en el Suelo Arcilloso

Tiempo (minutos)		Lectura (cm)		
Parcial	Acumulado	Parcial	Diferencia	Acumulado
0	0	8	----	
2	2	8,8	0,8	0,8
2	4	9,4	0,6	1,4
2	6	9,9	0,5	1,9
4	10	10,3	0,4	2,3
5	15	11,1	0,8	3,1
5	20	11,7	0,6	3,7
5	25	12,3	0,6	4,3
10	35	13,3	1	5,3
10	45	14,1	0,8	6,1
10	55	14,9	0,8	6,9
15	70	16	1,1	8
15	85	16,7	0,7	8,7
15	100	17,8	1,1	9,8
20	120	18,9	1,1	10,9

Fuente: Elaboración Propia

Graficamos y Obtenemos la Ecuación de Kostiakov para la Infiltración Acumulada

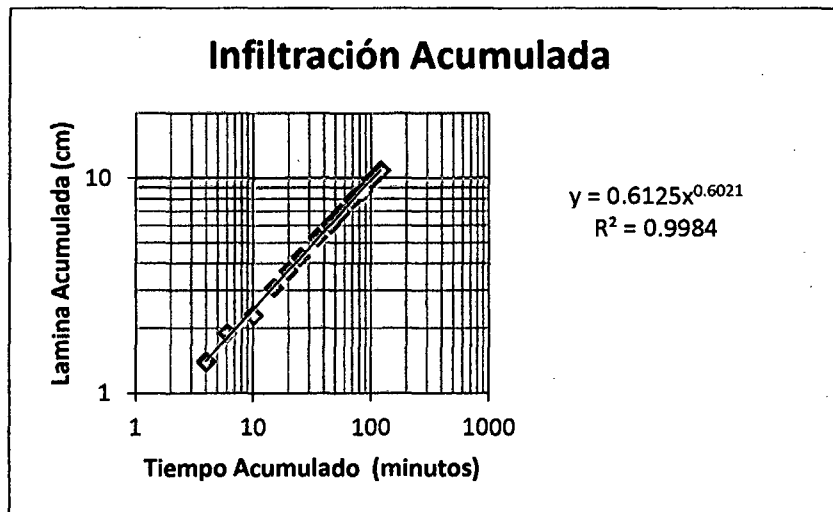


Figura 6.5 Tiempo vs Lamina Acumulada en el Suelo Arcilloso

Fuente: Elaboración Propia

$$I_b = 0.61 * T^{0.60} \dots \dots \text{cm/min}$$

Ecuación de infiltración Básica

$$I_b = 22.13 * T^{-0.40} \dots \dots \text{cm/hr}$$

Calculo del tiempo base.

$$T_b = -600(m - 1) \dots \text{min}$$

$$T_b = -600(-0.40) \dots \text{min}$$

$$T_b = 240 \dots \text{min}$$

Calculo de la Velocidad de Infiltración

$$I_b = 22.13 * 240^{-0.40} \dots \text{cm/hr}$$

$$I_b = 2.50 \dots \text{cm/hr}$$

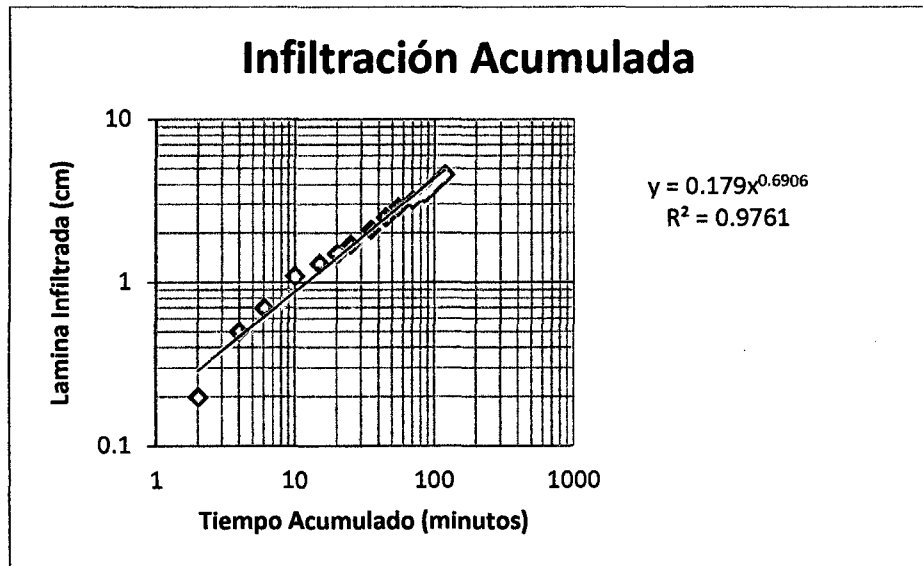
### SUELO FRANCO - ARCILLOSO

**Tabla 6.23 Datos de Lamina Infiltrada en el Suelo Franco - Arcilloso**

Tiempo (minutos)		Lectura (cm)		
Parcial	Acumulado	Parcial	Diferencia	Acumulado
0	0	0	13	----
2	2	2	13,2	0,2
2	2	4	13,5	0,3
2	2	6	13,7	0,2
4	4	10	14,1	0,4
5	5	15	14,3	0,2
5	5	20	14,5	0,2
5	5	25	14,7	0,2
10	10	35	15,1	0,4
10	10	45	15,5	0,4
10	10	55	15,9	0,4
15	15	70	16,2	0,3
15	15	85	16,5	0,3
15	15	100	17	0,5
20	20	120	17,6	0,6

Fuente: Elaboración Propia

Graficamos y Obtenemos la Ecuación de Kostiakov para la Infiltración Acumulada



**Figura 6.6 Tiempo vs Lamina Acumulada en el Suelo Franco - Arcilloso**

Fuente: Elaboración Propia

Ecuación de infiltración Acumulada

$$I_b = 0.179 * T^{0.69} \dots \dots \text{cm/min}$$

Ecuación de infiltración Básica

$$I_b = 7.42 * T^{-0.31} \dots \dots \text{cm/hr}$$

Calculo del tiempo base.

$$T_b = -600(m - 1) \dots \text{min}$$

$$T_b = -600(-0.31) \dots \text{min}$$

$$T_b = 186 \dots \text{min}$$

Calculo de la Velocidad de Infiltración

$$I_b = 7.42 * 186^{-0.31} \dots \dots \text{cm/hr}$$

$$I_b = 1.47 \dots \text{cm/hr}$$

## ANEXO N°07

### DISEÑO AGRONÓMICO

#### ❖ Para el Suelo Arcilloso y cultivo de Alfalfa

##### ➤ Lamina Neta

$$Ln = \frac{(Cc - PMP) * f * H * Da}{100}$$

H= 100 cm Cc= 36 % PMP= 17 % F=0.60 Da=1.30 gr/cm<sup>3</sup>

$$Ln = \frac{(36 - 17) * 0.60 * 100 * 1.30}{100}$$

$$Ln = 14.82 \text{ cm}$$

##### ➤ Lamina real o Bruta

$$Ln = \frac{\text{Lamina Neta}}{\text{Eficiencia de Aplicacion}}$$

$$Ln = 14.82 \text{ cm}$$

E= 0.70 eficiencia de aplicación

$$Lb = \frac{14.82 \text{ cm}}{0.70}$$

$$Lb = 21.17 \text{ cm}$$

##### ➤ Intervalo de Riego

$$Ir = \frac{\text{Lamina Neta}}{ETc}$$

$$Ln=21.17 \text{ cm}$$

ETc= 5.87 mm/día

$$Ir = \frac{211.7 \text{ mm}}{5.87 \text{ mm/dia}}$$

$$Ir = 25.25 \text{ dias}$$

$$Ir = 25 \text{ dias}$$

➤ **Tiempo de Riego**

$$Tr = \frac{\text{Lamina Bruta}}{V. \text{Infiltración}}$$

Lb=21.17 cm V. Infiltración= 2.5 cm/hr

$$Tr = \frac{21.17 \text{ cm}}{2.5 \text{ cm/h}}$$

$$Tr = 8.47 \text{ horas}$$

$$Tr = 9 \text{ horas}$$

➤ **Caudal requerido**

$$Qr = \frac{A * Lb}{F * Tr}$$

A= 85 746 m<sup>2</sup> Lb=0.2117 m F=25 días Tr = 9 horas/día

$$Qr = \frac{85746 * 0.2117}{25 * 9}$$

$$Qr = 80.68 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Qr = 22.41 \text{ lt/s}$$

➤ **Selección del aspersor**

Adoptamos una separación de aspersores de 12 metros

Calculando el número de aspersores para un largo de 200 m.

$$\text{Numero de Distancias} = \frac{200}{12}$$

$$\text{Numero de Distancias} = 16.67$$

$$\text{Numero de Distancias} = 17$$

$$\text{Ancho Efectivo} = 17 * 12 \text{ m}$$

$$\text{Ancho Efectivo} = 204 \text{ m}$$

Calculo del caudal medio de los aspersores (qm.)

Velocidad de infiltración 25 mm/hr

$$C_{\text{franja}} = \frac{\text{caudal}}{\text{intensidad} \times \text{ancho}}$$

$$C_{\text{franja}} = \frac{80.68}{0.025 \times 12}$$

$$C_{\text{franja}} = 268.93 \text{ m}$$

La franja irrigada por un lateral tiene 204 m de largo.

Por lo tanto, el valor 268.93 m corresponde a  $(204/268.3 = 0.76$  franjas)

Aproximando para 1 franjas, la intensidad media de los aspersores es:

$$I \left( \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{Q * 1000}{\text{espaciación entre aspersores} * \text{franja irrigada} * \text{número de laterales}}$$

$$I = \frac{80.68 * 1000}{12 * 204 * 1}$$

$$I = 32.95 \text{ mm/h}$$

Por ser mayor que la velocidad de infiltración del suelo, aproximamos a 2 franjas.

$$I = \frac{80.68 * 1000}{12 * 204 * 2}$$

$$I = 16.48 \text{ mm/h}$$

Por ser menor que la velocidad de infiltración del suelo, se utilizara 2 franjas. Así cada lateral deberá operar con 17 aspersores.

Por lo tanto el caudal medio de los aspersores será:

$$q_m = \frac{Q}{N \text{ de asp. en operación simultánea}}$$

$$q_m = \frac{80.68}{34}$$

$$q_m = 2.37 \text{ m}^3/\text{h}$$

Seleccionamos el aspersor comercial capaz de satisfacer el caudal de 2.37 m<sup>3</sup>/h.

Seleccionamos el aspersor con las siguientes características:

Tipo de aspersor: NAAN 344/92

Diámetro de Boquilla: 4.8x4.8 mm PAGOD

Presión de Trabajo: 2.5 atm o 25 mca

Caudal Nominal: 2.45 m<sup>3</sup>/h

Marco de aspersión (a x b): 12 x 12 m

Pluviometría: 17 mm/h

Diámetro de Cobertura: 28 m

Tiempo de riego:

$$Tr = \frac{\text{Lamina Bruta}}{\text{Pluviometría}}$$



$$Lb=21.17 \text{ cm}$$

$$P= 17 \text{ mm/h}$$

$$Tr = \frac{211.7 \text{ mm}}{17 \text{ mm/h}}$$

$$Tr = 12.45 \text{ horas}$$

$$Tr = 13 \text{ horas}$$

❖ **Para el Suelo Franco - Arcilloso y cultivo de Alfalfa**

➤ **Lamina Neta**

$$Ln = \frac{(Cc - PMP) * f * H * Da}{100}$$

$$H= 100 \text{ cm} \quad Cc= 32 \% \quad PMP= 13 \% \quad F=0.60 \quad Da=1.36 \text{ gr/cm}^3$$

$$Ln = \frac{(32 - 13) * 0.60 * 100 * 1.36}{100}$$

$$Ln = 15.5 \text{ cm}$$

➤ **Lamina real o Bruta**

$$Ln = \frac{\text{Lamina Neta}}{\text{Eficiencia de Aplicacion}}$$

$$Ln = 15.5 \text{ cm}$$

$$E= 0.70 \text{ eficiencia de aplicación}$$

$$Lb = \frac{15.5 \text{ cm}}{0.70}$$

$$Lb = 22.15 \text{ cm}$$

➤ **Intervalo de Riego**

$$Ir = \frac{\text{Lamina Neta}}{ETc}$$

$$Ln=15.5 \text{ cm}$$

$$ETc= 5.87 \text{ mm/día}$$

$$Ir = \frac{155 \text{ mm}}{5.87 \text{ mm/día}}$$

$$Ir = 26.41 \text{ dias}$$

$$Ir = 26 \text{ dias}$$

➤ **Tiempo de Riego**

$$Tr = \frac{\text{Lamina Bruta}}{V. Infiltración}$$

$$Lb=22.15 \text{ cm} \quad V. Infiltración= 1.47 \text{ cm/hr}$$

$$Tr = \frac{22.15 \text{ cm}}{1.47 \text{ cm/h}}$$

$$Tr = 15.07 \text{ horas}$$

$$Tr = 16 \text{ horas}$$

➤ **Caudal requerido**

$$Qr = \frac{A * Lb}{F * Tr}$$

$$A = 38\,760 \text{ m}^2 \quad Lb = 0.2215 \text{ m} \quad F = 26 \text{ días} \quad Tr = 16 \text{ horas/día}$$

$$Qr = \frac{38760 * 0.2215}{26 * 16}$$

$$Qr = 20.64 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$Qr = 5.73 \text{ lt/s}$$

➤ **Selección del aspersor**

Adoptamos una separación de aspersores de 12 metros

Calculando el número de aspersores para un largo de 100 m.

$$\text{Numero de Distancias} = \frac{100}{12}$$

$$\text{Numero de Distancias} = 8.33$$

$$\text{Numero de Distancias} = 9$$

$$\text{Ancho Efectivo} = 9 * 12 \text{ m}$$

$$\text{Ancho Efectivo} = 108 \text{ m}$$

Calculo del caudal medio de los aspersores (qm.)

Velocidad de infiltración 14.7 mm/hr

$$C_{franja} = \frac{\text{caudal}}{\text{intensidad} * \text{ancho}}$$

$$C_{franja} = \frac{20.64}{0.0147 * 12}$$

$$C_{franja} = 116.99 \text{ m}$$

La franja irrigada por un lateral tiene 108 m de largo.

Por lo tanto, el valor 116.9 m corresponde a  $(108/116.9 = 0.92 \text{ franjas})$

Aproximando para 1 franjas, la intensidad media de los aspersores es:

$$I \left( \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{Q * 1000}{\text{espacion entre aspersores} * \text{franja irrigada} * \text{numero de laterales}}$$

$$I = \frac{20.64 * 1000}{12 * 108 * 1}$$

$$I = 15.92 \text{ mm/h}$$

Por ser mayor que la velocidad de infiltración del suelo, aproximamos a 2 franjas.

$$I = \frac{20.64 * 1000}{12 * 108 * 2}$$

$$I = 7.96 \text{ mm/h}$$

Por ser menor que la velocidad de infiltración del suelo, se utilizara 2 franjas. Así cada lateral deberá operar con 9 aspersores.

Por lo tanto el caudal medio de los aspersores será:

$$q_m = \frac{Q}{N \text{ de asp. en operacion simultanea}}$$

$$q_m = \frac{20.62}{18}$$

$$q_m = 1.15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Seleccionamos el aspersor comercial capaz de satisfacer el caudal de 1.15 m<sup>3</sup>/h.

Seleccionamos el aspersor con las siguientes características:

Tipo de aspersor: NAAN 233/91

Diámetro de Boquilla: 4.9x2.5 mm KENTOR

Presión de Trabajo: 2.5 atm o 25 mca

Caudal Nominal: 1.76 m<sup>3</sup>/h

Marco de aspersión (a x b): 12 x 12 m

Pluviometría: 12.2 mm/h

Diámetro de Cobertura: 31 m

Tiempo de riego:

$$Tr = \frac{\text{Lamina Bruta}}{\text{Pluviometria}}$$

Lb=22.15 cm

P= 12.2 mm/h

$$Tr = \frac{221.5 \text{ mm}}{12.2 \text{ mm/h}}$$

Tr = 18.15 horas

Tr = 19 horas

**ANEXO N°08**  
**DISEÑO HIDRAULICO**

❖ **Para suelo Arcilloso**

- Caudal del lateral

$$Q_{Lateral} = n * q$$

$$n=17 \quad q=2.45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Lateral} = 17 * 2.45$$

$$Q_{Lateral} = 41.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Lateral} = 11.57 \text{ lt/s}$$

- Caudal de la Tubería de Derivación

$$Q_{Derivacion} = n * q$$

$$n=2 \quad q=41.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Derivacion} = 2 * 41.65$$

$$Q_{Derivacion} = 83.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Derivacion} = 23.14 \text{ lt/s}$$

❖ **Para suelo Franco - Arcilloso**

- Caudal del lateral

$$Q_{Lateral} = n_{Asperores} * q_{Aspersor}$$

$$n=9 \quad q=1.76 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Lateral} = 9 * 1.76$$

$$Q_{Lateral} = 15.84 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Lateral} = 4.4 \text{ lt/s}$$

- Caudal de la Tubería de Derivación

$$Q_{Derivacion} = n_{Lateral} * q$$

$$n=2 \quad q=15.84 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Derivacion} = 2 * 15.84$$

$$Q_{Derivacion} = 31.68 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{Derivacion} = 8.8 \text{ lt/s}$$

El cálculo de presiones se presenta en la Tabla 6.24

**ANEXO N°09**

**FOTOS**



Fotografía N 01: Terrenos Pertenecientes al Sector Mitapampa



Fotografía N 02: Muestreo de Suelo



Fotografía N 03: Muestreo de Agua del Canal Mancos



Fotografía N 04: Cilindro Infiltrómetro



Fotografía N 04: Tensiómetro de 60 cm instalado en Terreno

**ANEXO N°10**

**PLANOS**