



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ**

EXTENSIÓN CHONE

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TÍTULO:

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE
LOS SUELOS EN EL AREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO
MULTIPROPÓSITO CHONE.”**

AUTOR:

HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO.

TUTOR:

DR. ING. RAMÓN PÉREZ LEIRA

CHONE-MANABÍ-ECUADOR:

2017

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

DR. ING. RAMÓN PÉREZ LEIRA certifica haber tutelado la tesis, DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE LOS SUELOS EN EL AREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO CHONE, que ha sido desarrollada por HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO, previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

DR. ING. RAMÓN PÉREZ LEIRA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO, declara bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o certificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí, según lo establecido por la Ley de la propiedad Intelectual y su reglamento.

HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ EXTENSIÓN CHONE

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

INGENIEROS CIVILES

Los suscritos ingenieros del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE LOS SUELOS DEL AREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO CHONE, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO, previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, de acuerdo al REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL de la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí.

Chone, junio del 2017

Ing. Odilón Schnabel Delgado
DECANO

Dr. Ing. Ramón Pérez Leira
TUTOR

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

SECRETARIA

DEDICATORIA

Con sencillez y humildad dedico este trabajo a mi Mujer Alejandra, a mi hijo Sebastián a mis padres Dionicio Cedeño y Jaqueline Caicedo que me apoyaron para llegar a estas instancias en mis estudios, en especial a mi Tutor Ramón Pérez Leira quien me supo guiar y llenar de fortaleza en momentos de incertidumbre.

No puedo dejar de agradecer a mis hermanos Magdalena, Xavier y Lisbeth que depositaron su fe en mi esfuerzo y trabajo.

A mis compañeros con quienes compartí gratos momentos. A mis magnánimos amigos, que fueron testigos de las noches sin dormir, de momentos de desmotivación, pero entre bromas, juegos y peleas infantiles supieron darnos aliento para no parar y continuar.

.....
HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí y bajo su guía y bendición haber superado todos los obstáculos que cercaron el camino hasta este punto de mi vida.

.

A mis padres que han luchado en cada hora para que no me faltase lo necesario, siempre brindándome el apoyo requerido, al igual que el resto de mi familia.

A la Universidad laica “Eloy Alfaro” de Manabí. Que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

Al ingeniero Ramón Pérez Leira tutor de esta investigación, por su dedicación, paciencia y confianza plasmada en mí, guiando y aportándome con su experiencia las mejores ideas que me han sido de gran ayuda.

A cada uno de esos amigos y docentes, que han sabido transmitirme sus conocimientos y experiencias dentro y fuera de un aula de clases, logrando formar en mí, el profesional que he aspirado ser.

.....
HÉCTOR GÉRMAN CEDEÑO CAICEDO

SINTESIS

El objeto de la investigación fue investigar los Suelos de uso agrícolas contemplados dentro del Proyecto Multipropósito Chone, para lo cual se determinaron las propiedades Hidrofísicas de los suelos, como los valores de capacidad del campo en el suelo y la velocidad de infiltración del suelo, partiendo del análisis de las experiencias de fuentes secundarias a nivel regional y nacional en el tema de las propiedades Hidrofísicas de los suelos, hasta la valoración in situ de estas propiedades de los suelos, en ocho puntos escogidos estratégicamente dentro del área de influencia del proyecto, los mismos que respondieron al tipo de textura del suelo, obteniendo tres punto de muestreos en suelos de textura fina y cinco puntos de muestreo en suelos de textura media. Respecto a la Capacidad de Campo existió una correspondencia entre los valores más altos de esta propiedad en suelos de textura media así como los menores valores en suelos textura fina. Mientras que la Velocidad de Infiltración no reporto una correspondencia con relación a la textura del suelo, atendiendo a que los mayores valores de infiltración se obtuvieron en los puntos de suelo de textura fina, en tanto que, en los puntos de suelos de textura media, se produjeron dos grupos unos con velocidades de infiltración similares a los suelos de textura fina y otros con los menores valores de infiltración.

Palabras clave: Propiedades Hidrofísicas, capacidad de campo, velocidad de infiltración, textura fina, textura media.

ABSTRACT

The object of the research was to investigate the agricultural use soils referred to within the project multipurpose Chone, which determined the Hydrophysical properties of soils, as the values of the field capacity in soil and soil infiltration rate, on the basis of the analysis of the experiences of secondary sources at regional and national levels on the issue of the Hydrophysical properties of soils until the assessment on-site of these properties of soils, eight-point chosen strategically within the area of influence of the project, the same people who responded to the type of soil texture, obtaining three point sampling in five sampling points in soils of medium texture and fine texture soils. With regard to the ability of field existed a correspondence among the highest values of this property in soils of medium texture as well as the lower values in fine texture soils. While speed of infiltration reported not a correspondence in relation to the texture of the soil, according to the highest values of infiltration were obtained at points of fine texture, as soil, soils of medium texture points, occurred in two groups with speeds similar to fine texture soils and others with the lower values of infiltration infiltration.

KEY WORDS: Properties Hydrophysical, field capacity, infiltration, fine texture, medium texture.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	1
CAPITULO I ESTADO DEL ARTE	
1.1 El suelo desde el punto de vista agrícola.	8
1.2 Propiedades Hidrofísicas de los suelos y sus relaciones con el agua y las plantas.	9
1.3 La Capacidad de Campo del Suelo.	15
1.4 La Velocidad de Infiltración del Agua en el Suelo.	20
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1 Caracterización de la zona de estudio.	30
2.2 El Cantón Chone.	36
2.3 El área de estudio en el Proyecto Multipropósito Chone.	40
2.4 Desarrollo de las Pruebas de Campo.	42
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSION	49
3.1 Resultados de las Pruebas de Campo.	49
3.1 Resultados de la determinación de la Capacidad de	49
.1 Campo.	
3.1 Resultados de la determinación de la Lámina	60
.2 Infiltrada y la Velocidad de Infiltración del suelo.	
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Desertificación de Ecuador por Cantones (Calderón, 2015).	2
Figura 1.1. Composición ideal de un suelo.	8
Figura 1.2. Triángulo Textural para la clasificación del suelo.	10
Figura 1.3. Tipos de estructura de un suelo.	10
Figura 1.4. Clasificación Física y Biológica del Agua en el Suelo.	12
Figura 1.5. Representación del proceso de infiltración del agua en el suelo para dos texturas de suelo.	15
Figura 1.6. Comportamiento de la humedad del suelo determinada por el método gravimétrico durante un período de 72 horas.	16
Figura 1.7. Comportamiento de la Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Humedad Aprovechable para diferentes texturas de suelo.	17
Figura 1.8. Relación entre el Potencial Mátrico y el contenido de humedad existente en el suelo para dos texturas de suelo.	20
Figura 1.9. Estimación de la Velocidad de Infiltración en función de la textura del suelo.	21
Figura 1.10. Representación del movimiento del agua en el suelo para diferentes estructuras de suelo (granular, laminar, prismática y cúbica).	22
Figura 1.11. Modelo clásico que representa el fenómeno de infiltración e identificación de momentos de flujo (Transitorio y Estacionario).	22
Figura 1.12. Imagen del Infiltrómetro de doble anillo durante una prueba de infiltración.	24
Figura 1.13. Esquema ilustrativo de la técnica del infiltrómetro de reciclaje para medir la velocidad de infiltración en surcos.	26
Figura 1.14. Criterios de interpretación de la Velocidad de Infiltración.	27
Figura 2.1. Porcentaje de ocupación de la población económicamente activa diferenciada por género (INEC, 2010).	30
Figura 2.2. Dotación de Agua por Habitante y por Regiones en Ecuador (Secretaría del	31

Agua, 2016).	
Figura 2.3. Representación de las 12 Unidades Hidrográficas (Cuencas Hidrográficas) correspondientes a la Provincia Manabí (IGM, 2012).	32
Figura 2.4. Comportamiento espacial de la Temperatura y la Precipitación en la Demarcación Hidrográfica de Manabí (Zambrano, 2014).	33
Figura 2.5. Usos de suelo en la Provincia Manabí según reportes del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2012).	34
Figura 2.6. Cultivos Permanentes en Porcentajes del Área Total cultivada en Manabí.	35
Figura 2.7. Cultivos Transitorios en Porcentajes del Área Total cultivada en Manabí.	35
Figura 2.8. Técnicas y Métodos de Riego empleadas en Manabí expresadas en porcentaje del área total de riego que benefician durante el año 2013.	36
Figura 2.9. Ubicación del Cantón Chone dentro de la Provincia Manabí.	37
Figura 2.10. Categorías y uso de la Tierra del Cantón Chone (IEE y MAGAP, 2013).	37
Figura 2.11. Cuenca del Río Chone.	40
Figura 2.12. Área de estudio en el Proyecto Multipropósito Chone diferenciada por texturas de suelo según MAGAP (2016).	41
Figura 2.13. Imagen satelital con las coordenadas de los puntos de observación.	42
Figura 2.14. Segunda perforación efectuada a las 72 horas de saturación del suelo.	43
Figura 2.15. Balanza electrónica empleada para pesar las muestras de suelo "in situ" y posteriormente en el laboratorio cuando fueron secadas.	44
Figura 2.16. Estufa empleada para secar las muestras de suelo en el laboratorio de la Extensión Chone de la ULEAM.	44
Figura 2.17. Colocación de los Anillos de Infiltración para la determinación de Velocidad de Infiltración del suelo en uno de los puntos de observación.	46
Figura 2.18. Modelo empleado para el registro de los datos de Velocidad de Infiltración del suelo durante las pruebas de campo.	47

Figura 3.1. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	50
hasta 50 cm de profundidad en el punto F-1.	
Figura 3.2. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	51
hasta 50 cm de profundidad en el punto F-2.	
Figura 3.3. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	52
hasta 50 cm de profundidad en el punto F-3.	
Figura 3.4. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	53
hasta 50 cm de profundidad para los 3 puntos en suelo de textura fina.	
Figura 3.5. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	54
hasta 50 cm de profundidad en el punto M-1.	
Figura 3.6. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	54
hasta 50 cm de profundidad en el punto M-2.	
Figura 3.7. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	55
hasta 50 cm de profundidad en el punto M-3.	
Figura 3.8. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	56
hasta 50 cm de profundidad en el punto M-4.	
Figura 3.9. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	56
hasta 50 cm de profundidad en el punto M-5.	
Figura 3.10. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	57
hasta 50 cm de profundidad para los 5 puntos en suelo de textura media.	
Figura 3.11. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo	58
hasta 50 cm de profundidad para los 8 puntos estudiados.	
Figura 3.12. Calicatas en dos de los puntos estudiados donde se evidencia el cambio de	59
coloración en el tipo de arcilla del suelo a partir de los 20 cm de profundidad.	
Figura 3.13. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de	61
Infiltración en el punto F-1.	

Figura 3.14. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-2.	62
Figura 3.15. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-3.	63
Figura 3.16. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-1.	64
Figura 3.17. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-2.	66
Figura 3.18. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-3.	67
Figura 3.19. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-4.	68
Figura 3.20. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-5.	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores de referencia de la Densidad Aparente para diferentes texturas de suelo.	11
Tabla 1.2. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R ²) por diferentes autores para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa.	18
Tabla 2.1. Categorías de las UPAs atendiendo a su extensión y al porcentaje de existencia en el Cantón Chone.	38
Tabla 2.2. Categorías de las Parcelas atendiendo a su extensión y al porcentaje de existencia en el Cantón Chone.	38
Tabla 2.3. Porcentaje del área con riego y sin riego en Chone (IEE y MAGAP, 2013).	39

INTRODUCCION

De acuerdo a los estudios de Ibáñez (2014) y de la FAO (2015) se ha estimado que el 79% del total de agua dulce que hay en la Tierra se encuentra en forma de hielo, tanto en los polos como en los glaciares, un 20% está como agua subterránea en los acuíferos profundos, lejos del alcance de las raíces de las plantas, por lo que el 1% se ubica en lagos, ríos, suelos y atmósfera. De esta cantidad del 20 al 40% según diversos cálculos, se encontraría en los suelos (en los primeros metros y al alcance de las plantas).

En el Ecuador de acuerdo a lo establecido en el Plan Nacional de Riego (2013) existe una importante riqueza hídrica. Con sus dos vertientes, la del Océano Pacífico y la del Océano Atlántico (río Amazonas) con un promedio de 432 000 hm³/año, que puede variar bruscamente desde los 4'320 000 hm³ en la época lluviosa hasta los 146 000 hm³ en la época seca. Teniendo una distribución espacial y temporal muy diversa y más ahora que hay evidencia de los cambios climáticos (Guitarra y cols. 2017).

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca establece que se ha registrado una reducción de las precipitaciones que han ocasionado la progresiva disminución de la disponibilidad de agua, la cual está estrechamente relacionada con fenómenos socio-económicos y ambientales (MAGAP, 2013).

Con las condiciones climáticas y en muchas ocasiones la falta de agua de riego o la subutilización de la misma, los rendimientos de materia verde y seca de los diferentes cultivos disminuyen su producción (Murillo, 2000).

Según Calderón (2015), se estima que cerca del 47% del territorio ecuatoriano presenta problemas de degradación de la tierra, causada principalmente por erosión, sobrepastoreo, pérdida de la capa fértil del suelo, deforestación y cambios en el uso del suelo. Un 22.9 % de este porcentaje del territorio nacional continental presenta susceptibilidad a la desertificación.

En la figura 1 se muestran las zonas susceptibles a la desertificación. Como se puede observar, las mismas se encuentran en las zonas costeras del centro de Esmeraldas, en la franja costera de Manabí, Guayas, Santa Elena, El Oro, los valles interandinos y páramos de la mayoría de las provincias de la Sierra (Loja, Azuay, Pichincha,

Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua, Carchi e Imbabura). Obsérvese que el cantón Chone está incluido dentro de la categoría DESERTIFICADAS.



Figura 1. Mapa de la Desertificación de Ecuador por Cantones (Calderón, 2015).

La vulnerabilidad en estas zonas se ve potenciada por factores climáticos naturales entre estos la sequía (Segarra, 2014).

La Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (CNUDD) define a la sequía como un fenómeno producido cuando los valores de precipitación son mucho menores a los valores históricos causando graves desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas de producción de recursos terrestres (UNCCD, 2013).

Calderón (2015) plantea que la CNUDD establece como requisitos que todos los países afectados por DDTs deben reportar de manera bianual a la Conferencia de las Partes

(COPs) acerca de las medidas y programas alineados a la Estrategia Decenal que han sido llevados a cabo para la lucha contra la Desertificación, Degradación de la Tierra y Sequías (DDTS). Algunos de los sectores relacionados a combatir la DDTS son:

- Recuperación de la cobertura vegetal
- Forestación y reforestación
- Agricultura de conservación
- Gestión eficiente del agua (en cantidad y calidad)
- Seguridad y soberanía alimentaria
- Análisis de vulnerabilidades y riesgos naturales
- Conservación de la biodiversidad
- Ordenamiento ambiental y territorial
- Adaptación al cambio climático
- Energías alternativas
- Investigación hidrometeorológica
- Investigación edafológica

Hasta el momento el Ecuador ha enviado a la CNUCLD un total de 7 Reportes Nacionales en los años 2000, 2002, 2006, 2010, 2012, 2014 y 2016.

Dentro de los actores identificados en Ecuador relacionados con la DDTS ha sido considerada la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. De igual forma, el Cantón Chone ha sido identificado como uno de los territorios para aplicar nuevas tecnologías y buenas prácticas para la gestión de la microcuenca del río Grande, específicamente dirigidas a las comunidades de la Tablada de Sánchez, La Ñarusa, El Aguacate, Platanales y Juan Callon y Pachinche.

El presente Proyecto de Investigación está en plena correspondencia con los propósitos anteriormente mencionados así como con el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Tributa directamente al objetivo 10.4 dentro de la Matriz de políticas y lineamientos

estratégicos donde se expresa textualmente: “Impulsar la producción y la productividad de forma sostenible y sustentable, fomentar la inclusión y redistribuir los factores y recursos de la producción en el sector agropecuario, acuícola y pesquero.” Dentro del mencionado objetivo se enfatiza en el inciso i: “Incrementar la cobertura y el acceso equitativo al riego e impulsar la cogestión de los sistemas de irrigación, aprovechando las formas organizativas y saberes locales, para garantizar la soberanía alimentaria.” Se consideran los aspectos relacionados con la descentralización de los territorios asociados a las Competencias de Riego y Drenaje (SENPLADES, 2013). También está comprendido dentro de las Líneas y Programas definidos y aprobados por la Extensión Chone donde se recoge la “Fundamentación y Estructuración de las Investigaciones del Área Productiva ULEAM-Extensión Chone”, definidos para el año 2015. Se inserta en un escenario muy favorable que está potenciando el país dentro del fortalecimiento de la Matriz Productiva, materializado a través del Proyecto Multipropósito Chone en la zona de estudio. En dicho Proyecto está previsto incrementar el riego en un área aproximada de 3 000 ha en una zona con grandes potencialidades agroproductivas, pero con grandes limitaciones en los agricultores para asimilar el cambio necesario de una agricultura extensiva con prácticas inadecuadas sobre los recursos naturales a una agricultura tecnificada y sostenible. Su justificación se basa en la falta de información existente sobre las Propiedades Hidrofísicas de los suelos para definir y planificar el Régimen de Riego de los Cultivos en la zona. Este trabajo se complementa con las investigaciones de Zambrano (2016) desarrollado paralelo a esta investigación con el objetivo de analizar el comportamiento de las propiedades físicas de los suelos en la zona de estudio de referencia.

Un resumen de los aspectos fundamentales que definen su eje metodológico se muestra a continuación:

Problema de investigación: Se desconocen las Propiedades Hidrofísicas de los Suelos con fines agrícolas en el área prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone.

Objeto de investigación o estudio: Suelos con fines agrícolas dentro del Área de Estudio del Proyecto Multipropósito Chone

Campo de acción: Propiedades Hidrofísicas de los suelos que son Objetos de estudio.

Hipótesis de la investigación: La determinación de las Propiedades Hidrofísicas de los suelos permite definir con mayor precisión la Velocidad de Infiltración y la Capacidad de Retención de agua del suelo del Área del Proyecto Multipropósito Chone.

Objetivo general: Determinar las Propiedades Hidrofísicas de los suelos en el Área de Estudio del Proyecto Multipropósito Chone.

Variables:

Variables técnicas:

- ✓ Capacidad del campo en el suelo
- ✓ Velocidad de infiltración del suelo

Tareas Científicas de Investigación

Tarea 1. Examinar la experiencia Nacional y Regional relacionada con las propiedades Hidrofísicas de los suelos en Ecuador.

Tarea 2. Determinar los valores de Velocidad de Infiltración y Capacidad de Campo de los suelos existentes en el Área de Proyecto Multipropósito Chone.

Tarea 3. Analizar la variación de las propiedades estudiadas por profundidades y por su ubicación espacial.

Tarea 4. Identificar las causas que inciden en la variación de las propiedades Hidrofísicas en la zona de estudio (textura, pendientes, usos del suelo, etc).

Esquema Metodológico.

La investigación se ha estructurado en Introducción, tres Capítulos (que serán detallados a continuación), Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas.

Capítulo I: Estado del Arte. Aborda los aspectos relacionados con la determinación de las propiedades Hidrofísicas de los suelos. Métodos para su determinación y asociación de dichas propiedades con otras características de los suelos atendiendo a

su origen, topografía y zonas climáticas entre otras. Se relaciona la experiencia nacional e internacional sobre este tipo de estudios.

Capítulo II: Materiales y Métodos. Incluye una caracterización de la zona de estudio según el clima y los suelos. Se describen todos los procedimientos y el equipamiento empleados para la determinación de la Capacidad de Campo y la Velocidad de Infiltración en condiciones de campo.

Capítulo III: Resultados y Discusión. Se detallan todos los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de estudios. Se utilizan figuras y tablas para mostrar el resultado del estudio. Se comparan los resultados entre sí y también con los resultados de otros autores en estudios análogos.

CAPITULO I

ESTADO DEL ARTE

CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE

1.1 El suelo desde el punto de vista agrícola.

Los suelos surgen como resultado de la combinación de un grupo de factores activos y pasivos. Dentro de los factores pasivos se encuentran la naturaleza de la roca que los origina, el tiempo y el relieve. En los factores activos se encuentran el clima, la flora, la fauna y el hombre. De todos estos factores, es el hombre el que mayor incidencia está teniendo en los últimos años en las modificaciones que experimentan los suelos.

En la agricultura, los suelos tienen importantes funciones para los cultivos: sirven de soporte mecánico, constituyen fuente de nutrientes y permiten la retención del agua que será utilizada por las plantas.

Se plantea que un suelo con una composición equilibrada es aquel que tiene las proporciones de minerales, materia orgánica, aire y agua que se muestran en la figura 2.

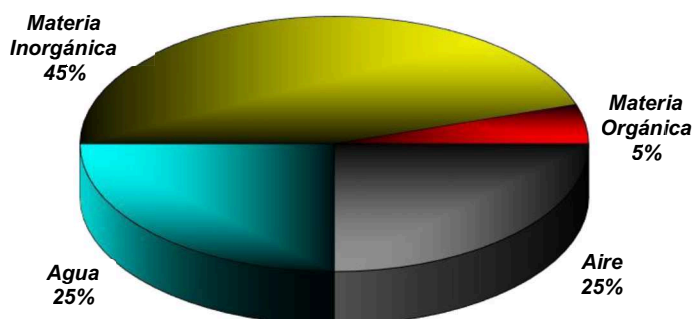


Figura 1.1. Composición ideal de un suelo.

Sin embargo, esa composición ideal del suelo es una condición muy específica. Esto responde a la naturaleza del material que le ha dado origen al suelo y la combinación de los factores activos que inciden constantemente sobre el mismo.

El agua y el aire ocupan el espacio de poros del suelo (Ratto, 2000). En el estado de saturación todos los poros están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un

estado temporal ya que el exceso de agua se drena por los poros grandes por acción de la gravedad para ser reemplazados por aire (FAO, 2005).

La relación entre el contenido de agua y aire depende de la época del año y del clima predominante asociado al régimen de lluvias. Si el suelo está ubicado en un área cultivada, la relación aire-agua dependerá del manejo del riego que se esté haciendo por los agricultores, lo cual tiene un impacto determinante sobre el contenido de materia orgánica, la concentración de sales y otras propiedades del suelo.

El agua en el suelo influye en los procesos de formación, movilización y absorción de nutrientes en las plantas, regulación de la temperatura, procesos de óxido reducción, y problemas de erosión, además puede tener diversas sales disueltas, compuestos orgánicos o inorgánicos solubles, moléculas provenientes de la degradación de herbicidas y pesticidas y partículas coloidales, orgánicas o inorgánicas en suspensión (Ratto, 2000).

1.2 Propiedades Hidrofísicas de los suelos y sus relaciones con el agua y las plantas.

Para caracterizar los suelos desde el punto de vista físico se definen las propiedades siguientes:

- **Textura:** se define a partir de las proporciones de las partículas que componen el suelo por sus diferentes tamaños. Las clasificaciones básicas son arena, limo y arcilla, siendo estas últimas las partículas más finas con tamaños inferiores a 0.002 milímetros. Una de las herramientas más utilizadas para clasificar un suelo atendiendo a su textura es el Triángulo Textural (figura 3). Para conocer los porcentajes de composición de cada partícula es necesario tomar una muestra de suelo y después de haber procedido a secarla en una estufa a 105° C durante un período de 16 a 20 horas se procede a tamizarla por tamices de diferentes diámetros. El peso de las partículas que queda retenida en cada tamiz con respecto al peso total de la muestra seca es el que define los porcentajes con que se debe trabajar con el triángulo textural para clasificar el suelo.

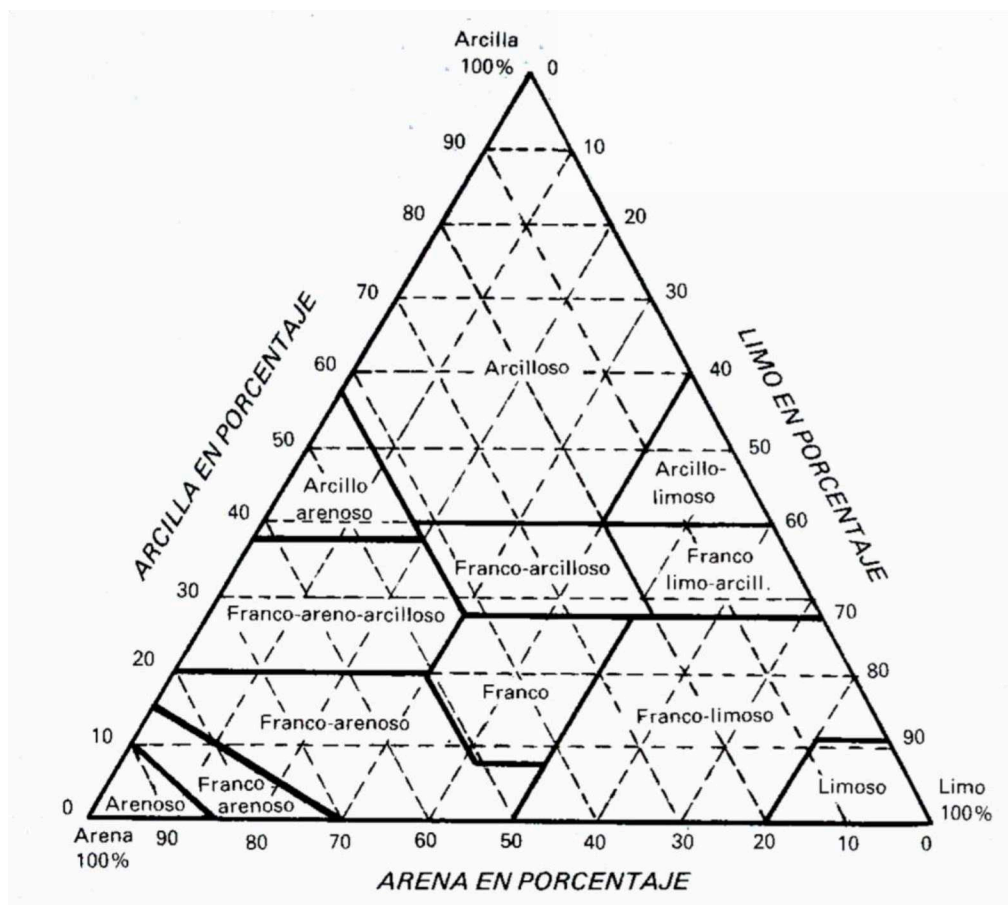


Figura 1.2. Triángulo Textural para la clasificación del suelo.

- **Estructura:** Se define por la forma en que se agrupan las partículas. Las más comunes pueden ser estructuras cúbicas, laminares, prismáticas, columnares y granulares, siendo esta última la más favorable para las plantas al permitir un buen drenaje y penetración de las raíces (ver figura 4).

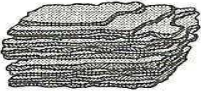
ESTRUCTURA DEL SUELO			
ESFEROIDAL		EN FORMA DE PRISMA	
 GRANULAR (POROSA)	 MIGAJÓN (MUY POROSA)	 PRISMÁTICA (CÚSPIDES PLANAS)	 COLUMNAR (CÚSPIDES REDONDEADAS)
 MASIVA	LAMINAR	DE BLOQUE	
	 EN PLACAS	 EN BLOQUES	 UNIGRANULAR

Figura 1.3. Tipos de estructura de un suelo.

- **Densidad Real:** Se define como la relación existente entre la masa y el volumen que ocupa la parte sólida. Como valores de referencia este parámetro se encuentra entre 2.50 y 2.70 g/cm³.
- **Densidad Aparente:** Se define como la relación existente entre la masa y el volumen total de una muestra de suelo que incluye la parte sólida y el volumen de poros. Como valores de referencia este parámetro se encuentra entre 1.25 y 1.50 g/cm³. Los valores de referencia de este parámetro asociado a diferentes texturas de suelo se muestran por Campero (2017) en la tabla 1.

Textura	Densidad Aparente (g/cm ³)
Arenosa	1.5 - 1.8
Franco arenosa	1.4 - 1.6
Franco	1.3 - 1.5
Franco arcilloso	1.3 - 1.4
Arcilloso	1.2 - 1.3

Tabla 1.1. Valores de referencia de la Densidad Aparente para diferentes texturas de suelo.

- **Porosidad:** Se define como la fracción de volumen que constituyen los poros del volumen total de una muestra. Este parámetro varía según la textura del suelo y su nivel de compactación. Como valores de referencia este parámetro se encuentra entre el 40 y el 58 %. Esta propiedad guarda un estrecho vínculo con la densidad real y la densidad aparente del suelo.

Los contenidos de agua en el suelo se definen a partir de dos criterios: el criterio físico y criterio el biológico (figura 5).

		<i>CH</i>	<i>Cc</i>	<i>Cs</i>
<i>C. Física</i>	<i>Agua Higroscópica</i>	<i>Agua Capilar</i>		<i>Agua Gravitacional</i>
<i>C. Biológica</i>	<i>Agua no Aprovechable</i>	<i>Agua Aprovechable</i>		<i>Agua Superflua</i>
		<i>A.D.A</i>	<i>A.F.A.</i>	
		<i>Cm</i>	<i>Lp</i>	

Figura 1.4. Clasificación Física y Biológica del Agua en el Suelo.

Según el criterio físico el agua en el suelo puede tener las siguientes denominaciones atendiendo a las fuerzas que predominan sobre ella:

- **Agua Gravitacional:** Es el contenido de humedad que no puede ser retenido dentro de la matriz de suelo por el efecto combinado de las fuerzas capilares e higroscópicas y desciende a capas más profundas por efecto de su propio peso (predominio de la fuerza de gravedad sobre las demás).
- **Agua Capilar:** Es aquella parte del agua retenida dentro de la matriz de suelo por efecto de las fuerzas capilares que se engendran por el contacto entre el agua de los poros y la superficie de los granos que componen el suelo.
- **Agua Higroscópica:** Es la que es retenida en la matriz de suelo en forma de películas que rodean los granos y partículas del suelo por efecto de fuerzas electroquímicas de superficie.
- **Agua de Composición:** Es la que contienen las moléculas de la sustancia que forma la parte sólida del suelo y que sólo puede ser eliminada por procesos químicos.

Según el criterio biológico el agua en el suelo puede tener las siguientes denominaciones atendiendo a su disponibilidad para las plantas (figura 5):

- **Agua Superflua:** Se corresponde con el contenido de agua que se encuentra entre el Coeficiente de Saturación (C_s) y la Capacidad de Campo (C_c). Si el suelo tiene buen drenaje, este contenido tiene una permanencia en el suelo por un período máximo de 48 horas y no puede ser asimilado por las plantas.

- **Agua Aprovechable:** Es la que está contenida entre la Capacidad de Campo y el Coeficiente de Higroscopicidad (Ch), equivalente también al Coeficiente de Marchitez (Cm). Este contenido de agua es el que pueden utilizar las plantas y su presencia en el suelo depende de diversos factores climáticos, edáficos y fisiológicos del cultivo. A su vez esta agua aprovechable se subdivide en dos contenidos:
 - Agua Fácilmente Aprovechable (AFA): Es el contenido de agua que puede ser tomado por las plantas sin tener ninguna implicación adversa sobre el rendimiento de los cultivos.
 - Agua Difícilmente Aprovechable (ADA): Es el contenido de agua que puede ser tomado por las plantas pero que por su dificultad de absorción ya tiene una implicación sobre el rendimiento de los cultivos. El umbral entre el AFA y el ADA se define como Límite Productivo (Lp).
- **Agua No Aprovechable:** Es la que está contenida por debajo del Coeficiente de Marchitez (Cm). Este contenido de agua no es posible ser absorbido por las plantas. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, este suelo se siente casi seco o muy poco húmedo (FAO, 2005).

Según su relación con el agua se definen para los suelos varias propiedades hidrofísicas de las cuales se relacionan a continuación las dos más importantes con fines de riego:

- **Capacidad de Campo:** Las evidencias indican que este término se introdujo por los autores Israelsen y West (1922) en un estudio publicado por la Estación Experimental Agrícola de UTAH. En dicho estudio los autores concluyeron que la mayoría de las pruebas de capacidad de retención de agua de los suelos que se habían realizado bajo condiciones de laboratorio no ofrecían resultados precisos para la práctica del riego. Los autores analizan las mediciones de capacidad de retención de agua hechas por 10 investigadores en 8 estados y en 20 clases diferentes de suelo de los Estados Unidos y demuestran que la cantidad de agua absorbida por el suelo con fines de riego varió de 0.5 pulgadas de agua (1.27 cm) para 1 pie de profundidad

(0.30 m) en un suelo arenoso a 2,25 (5.7 cm) pulgadas de agua para un suelo franco-arcilloso con la misma profundidad. El valor de la Capacidad de Campo corresponde aproximadamente al contenido de agua que retiene una muestra de suelo saturada y luego sometida a una tensión de -0,33 bares (Richards y Weaver, 1944). Según Viehmeyer y Hendrikson, citados por Ratto (2000) la capacidad de campo es definida como la cantidad de agua retenida en el suelo después que ha drenado el agua gravitacional y cuando la velocidad del movimiento descendente del agua disminuye sustancialmente. A este valor se lo conoce también con otras denominaciones como capacidad normal de campo, capacidad normal de humedad, capacidad capilar, capacidad de retención de agua y agua suspendida. Se puede expresar en porcentaje del peso de suelo seco (% pss). La misma puede tener un período de permanencia en el suelo de 48 a 72 horas. Este concepto se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido (FAO, 2005).

- **Velocidad de Infiltración:** Se define como la velocidad con que el agua atraviesa el perfil del suelo. Se puede expresar en milímetros por hora o por minutos (mm/h ó mm/min). Esta propiedad está estrechamente relacionada con la textura del suelo. Los suelos de textura arenosa poseen mayor velocidad de infiltración que los suelos de textura arcillosa. Este movimiento del agua a través del suelo puede ser descrito por modelos matemáticos dentro de los cuales se destacan los definidos por Kostiakov-Lewis y Philip, citados por Landini y cols. (2007). En la figura 6 se ilustra la infiltración en un suelo de textura arenosa en comparación con un suelo de textura franco-arcillosa.

El conocimiento de estas propiedades hidrofísicas de los suelos constituye un requisito indispensable para realizar un buen manejo del régimen de riego de los cultivos y forman parte de la información necesaria para realizar un buen proyecto de sistema de riego. Por tal motivo serán abordadas con mayor amplitud en este estudio.

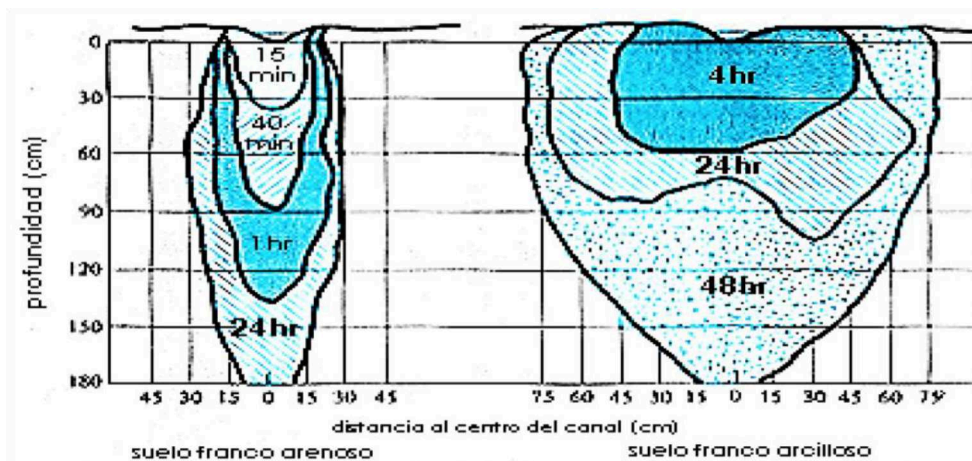


Figura 1.5. Representación del proceso de infiltración del agua en el suelo para dos texturas de suelo.

1.3 La Capacidad de Campo del Suelo.

Como ya fue conceptualizado en el acápite anterior, esta propiedad del suelo es una de las más importantes para realizar proyectos de riego, por lo cual ha sido objeto de numerosos estudios en diferentes partes del mundo.

La forma más común para su determinación es a través de una plazoleta de inundación en la cual se procede a saturar el suelo y a dejarlo cubierto con una manta impermeable durante un período máximo de 5 días.

Durante ese tiempo se deben tomar muestras de la humedad del suelo por el método gravimétrico cada 24 horas.

Posteriormente ese contenido de humedad es representado de manera gráfica para un análisis más preciso. Un ejemplo de este resultado se muestra en la figura 7 para un período de 72 horas según Guitarra y cols. (2017). Los datos fueron tomados en la provincia de Imbabura en Ecuador.

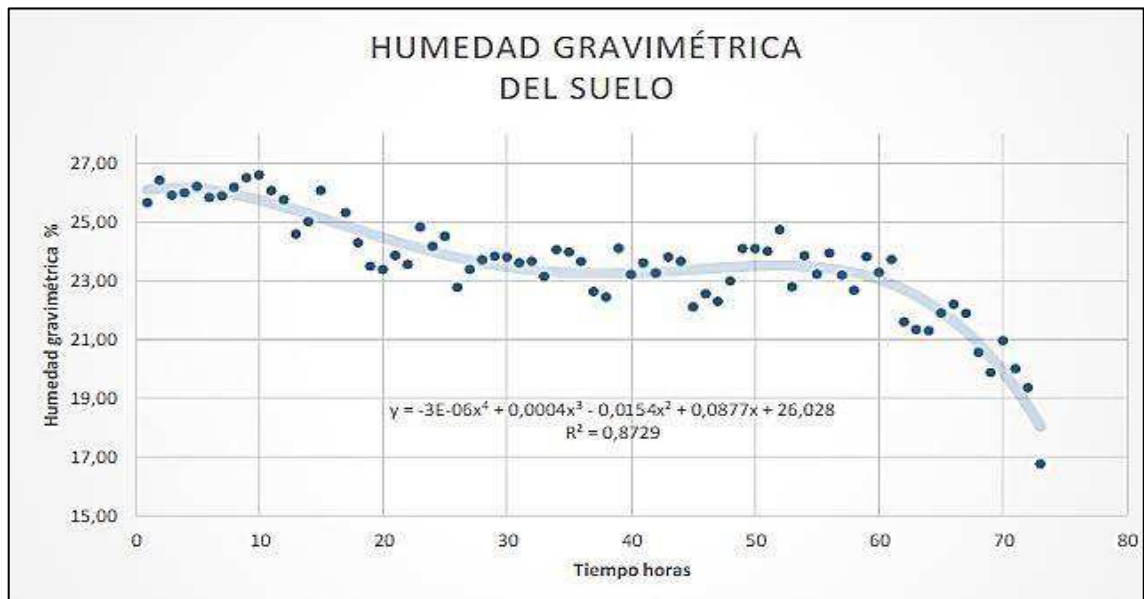


Figura 1.6. Comportamiento de la humedad del suelo determinada por el método gravimétrico durante un período de 72 horas.

Como puede observarse, existe un alto contenido de humedad en las primeras 30 horas y pasado este tiempo la humedad se estabiliza hasta las 60 horas. Este resultado concuerda con lo establecido por Maldonado (2001), FAO (2015) e Ibáñez (2017). A partir de ese tiempo comienza a disminuir de manera acelerada. El contenido de humedad promedio correspondiente a la fase de estabilización comprendida entre las 30 y 60 horas es el valor correspondiente a la Capacidad de Campo.

En el ejemplo que se muestra se alcanza un valor aproximado del 24 % del peso de suelo seco que representa la Capacidad de Campo para ese suelo.

Es importante aclarar que este período de estabilización de la humedad no tiene siempre la misma duración para todos los suelos. La experiencia práctica indica como referencia que para suelos de textura arenosa el valor de la Capacidad de Campo se puede encontrar una vez transcurridas 48 horas de haber saturado el suelo. Sin embargo, para los suelos de textura arcillosa este valor se puede encontrar transcurridas 72 horas después de la saturación.

Algunos valores de referencia de la Capacidad de Campo asociada a diferentes texturas de suelo son ofrecidos por Maldonado (2001) en un estudio realizado en la VIII Región en Chile para el cultivo del trigo (figura 8).

Valores promedios de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (D_a) y humedad aprovechable (H_a) a 70 cm de profundidad				
Textura	CC (%)	PMP (%)	D_a (g/cm³)	H_a (m³/ha/70cm)
Arenoso	9,0	4,0	1,6	560
Franco arenoso	14,0	6,0	1,5	840
Franco	19,5	10,0	1,2	798
Franco arcilloso	27,0	13,0	1,2	1.176
Arcillo arenoso	31,0	15,0	1,3	1.456
Arcilloso	35,0	17,0	1,3	1.638

Figura 1.7. Comportamiento de la Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Humedad Aprovechable para diferentes texturas de suelo.

No obstante existen criterios divergentes a esta referencia mostrada en la tabla 8. Ratliff y cols. y Gebregiorgis y Savage, citados por Fontanet (2014) plantean que hay muchos errores ligados a las determinaciones texturales, ya que la estructura del suelo también debe ser considerada. Este argumento también proviene del criterio sostenido por Custodio y Llamas (1976) cuando plantearon que “La estructura de un suelo no es una constante y cualquier afección física sobre el terreno o el hecho de que permanezca saturado de agua cierto tiempo puede cambiarla.”

Con la intención de simplificar todo el trabajo que implica la determinación de la Capacidad de Campo de los suelos a partir de la toma de muestras periódicas de un área previamente saturada, algunos autores han propuesto funciones empíricas para predecir puntos de la curva de retención de humedad. La mayoría de estas funciones son ecuaciones de regresión lineal múltiple como las propuestas por Rawls y cols. (1982) Batjes (1996) y Tomasella y Hodnett (1998).

Morales y Vilorio (2007) presentan un resumen de las ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R^2) propuestos por diferentes autores para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa (valor de tensión de humedad del suelo correspondiente a la Capacidad de Campo según Richards y Weaver (1944)). Este resultado se puede apreciar en la tabla 2.

Autor	Ecuación	R ²
Rawls et al, 1982	$25,76 - (0,2 \text{ b}) + (0,36 \text{ d}) + (2,99 \text{ e})$	0,87
Delgado y Barreto, 1988	$29,06 - (0,290 \text{ b}) - (0,253 \text{ c}) + (0,135 \text{ d}) + (2,56 \text{ e})$	0,79
Malavé, 1991	$23,953 - (0,2228 \text{ b}) + (4,6436 \text{ e})$	0,85
Batjes, 1996	$(0,4600 \text{ d}) + (0,3045 \text{ c}) + (2,0703 \text{ f})$	0,90
Pineda y Vilorio, 1997	$57,550 + (1,405 \text{ f}) - (0,559 \text{ b})$	0,77
Tomasella y Hodnett, 1998	$4,046 + (0,426 \text{ c}) + (0,404 \text{ d})$	0,88
Rey y Wagner, 2004	$22,88 - (0,09 \text{ b}) - (9,13 \text{ g}) + (0,29 \text{ i}) + (0,17 \text{ h}) + (59,01 \text{ j})$	0,75

b = arena (%), c = limo (%), d = arcilla (%), e = materia orgánica (%), f = carbono orgánico (%), g = densidad aparente (g cm⁻³), h = macroporos (%), i = microporos (%), j = retención de agua a -1500 kPa (g agua g⁻¹ suelo)

Tabla 1.2. Ecuaciones de regresión y sus coeficientes de determinación (R²) por diferentes autores para estimar el contenido de humedad retenido a -33 kPa.

Los estudios desarrollados en Venezuela por Delgado y Barreto (1988), Malavé (1991), Pineda y Vilorio (1997), Rey y Wagner (2004) han generado ecuaciones de regresión múltiple para predecir puntos de la curva de retención de humedad con datos de suelos representativos de diferentes áreas agrícolas. Sin embargo, la mayor limitación de las funciones de pedotransferencia es su tendencia a tener un ámbito de aplicación local Morales y Vilorio (2007). Sumado a ello es importante conocer que la capacidad de retención del agua en el suelo está caracterizada por una variabilidad espacial y temporal que ya ha sido demostrada (Guarín y Poveda, 2013).

Fontanet (2014) resume los métodos para determinar la Capacidad de Campo que se relacionan a continuación:

- Determinación de la humedad en condiciones de campo (que considera el efecto de las capas subyacentes).
- Determinación aproximada en el Laboratorio y con edafotransferencia.
- Obtención Experimental de la Curva de Conductividad Hidráulica No Saturada y Simulación con el Sistema HYPROP.

Esta última propuesta, considerada por la autora como más avanzada, incorpora análisis de laboratorio combinados con procesos de simulación a partir de la obtención de la Curva de Conductividad Hidráulica No Saturada del Suelo y la aplicación del Sistema HYPROP. El Sistema HYPROP determina simultáneamente el Potencial de agua (Ψ) y el contenido hídrico o contenido volumétrico en una

muestra inalterada de suelo. Posteriormente, mediante un Software llamado TensioView, se calcula la curva de retención de humedad y la de conductividad hidráulica insaturada. Dos minitensiómetros de precisión miden el potencial de agua a diferentes niveles dentro de la muestra mientras que ésta se mantiene en una balanza de precisión (rango 2,000 gramos; 0,01 resolución). Al secarse la muestra, los cambios en el potencial hídrico se correlacionan con los cambios en el contenido de humedad. Los resultados se verifican y se calculan los valores de rango seco y la saturación de acuerdo con un modelo seleccionado (LABFERRER, 2017). Entre las principales ventajas de este sistema se encuentran:

- Bajo gasto de tiempo y costos
- Adecuado para aplicaciones móviles
- Resultados de alta calidad para la curva de retención de agua, especialmente en la zona cercana a la saturación.
- T5X tensiómetros pueden medir más allá de 250 kPa debido al retraso en ebullición.
- Medición simultánea de la curva de retención de agua y la conductividad hidráulica.
- Es un sistema apto para todos los suelos.

En contraposición con esta novedosa propuesta, Real y cols. (2015) consideran que HYPROP ofrece una aceptable aproximación para la curva de conductividad hidráulica, pero su expresión matemática tiene ciertas limitaciones dentro de las que se menciona que las funciones de edafo-transferencia sobreestiman la capacidad de retención de agua y conductividad hidráulica para potenciales matriciales superiores a -100 kPa, y las infraestiman para potenciales inferiores a los -100kPa.

Raper y cols. (2015) llegan a conclusiones similares en su estudio sobre la respuesta de dos sensores económicos de humedad del suelo para analizar el contenido de agua y la textura del suelo. En su estudio concluyeron que las mediciones fueron altamente influenciadas por las drásticas variaciones en la temperatura del suelo por lo que recomiendan realizar más investigaciones en lisímetros o recipientes de pesaje en campo que propiciarían resultados más fiables.

1.4 La Velocidad de Infiltración del Agua en el Suelo.

El concepto de Velocidad de infiltración, definido con anterioridad en este documento, está estrechamente relacionado con el Potencial Mátrico (Ψ_m). Cuando el agua entra en contacto con partículas sólidas (como por ejemplo partículas de arcilla o arena del suelo), las fuerzas intermoleculares de adhesión entre el agua y el sólido pueden ser grandes e importantes. Estas fuerzas en combinación con la atracción entre moléculas de agua pueden generar una tensión superficial y la formación de micelas dentro de la matriz del sólido. Se requiere una fuerza para romper estas micelas. La magnitud del potencial mátrico depende de las distancias entre las partículas sólidas, del ancho de las micelas y de la composición química de la matriz sólida. Los potenciales mátricos son muy importantes para la economía del agua de una planta. Potenciales mátricos fuertes (muy negativos) unen al agua con las partículas del suelo en suelos muy secos. Los vegetales forman potenciales mátricos incluso más negativos en los pequeños poros de las paredes celulares de las células de las hojas para extraer agua del suelo y permitir que la actividad fisiológica continúe en periodos de sequía.

Tarjuelo (2005) presenta de manera gráfica la relación existente entre el Potencial Mátrico y el contenido de humedad existente en el suelo para dos texturas de suelo. En la figura 9 se presenta esta representación con un detalle comparativo de potenciales en las dos texturas para un mismo contenido de humedad.

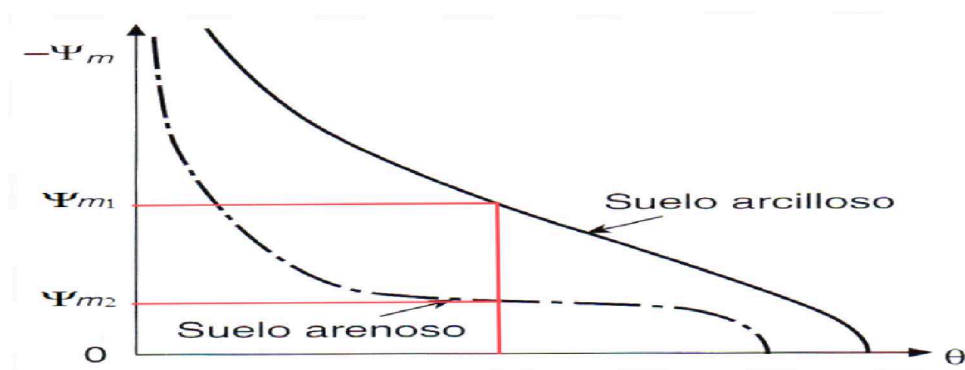


Figura 1.8. Relación entre el Potencial Mátrico y el contenido de humedad existente en el suelo para dos texturas de suelo.

Como puede observarse, para un mismo contenido de humedad reflejado en el eje horizontal, el suelo arcilloso genera valores de Potencial Mátrico (Ψ_{m1}) superiores al

que se obtiene con el suelo arenoso (ϕ_{m2}). De forma análoga, para un mismo valor de ϕ_m en ambos suelos, se evidencia que se retiene mayor contenido de humedad en un suelo de textura arcillosa en comparación con un suelo arenoso.

La relación demostrada entre el ϕ_m y el contenido de humedad constituyen la base para comprender que la infiltración del agua en el suelo ocurre con mayor velocidad en los suelos de textura arenosa y que esta velocidad disminuye en la medida que la textura del suelo se hace más fina.

Una representación interesante que relaciona la velocidad de infiltración con la textura del suelo es ofrecida por Tarjuelo (2005) en la figura 10.

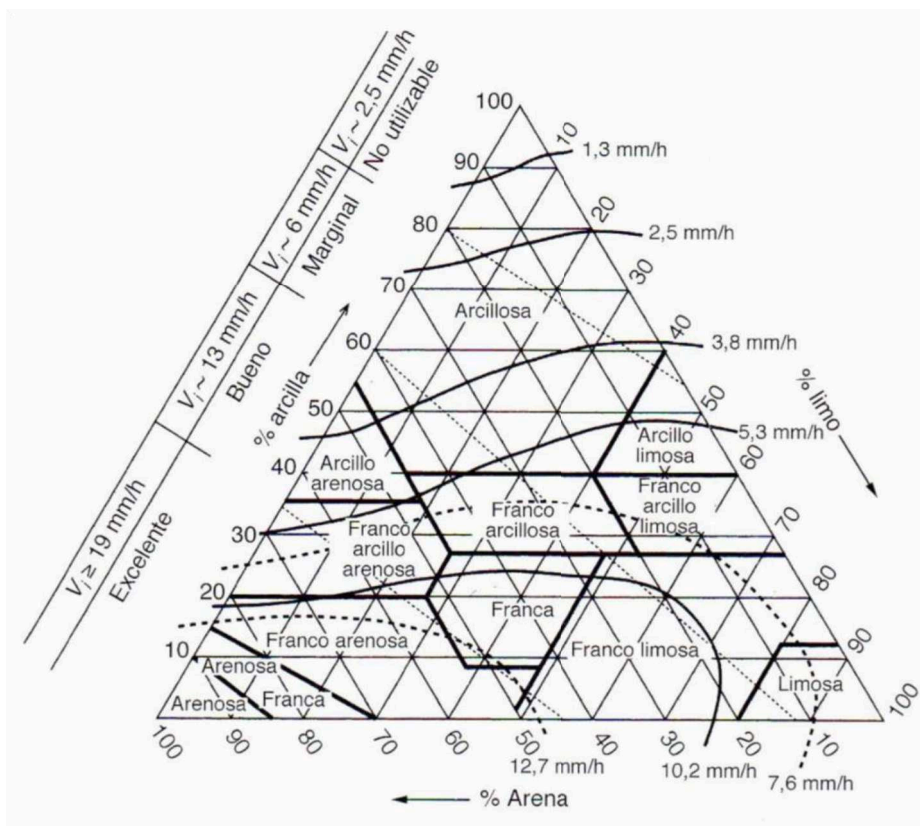


Figura 1.9. Estimación de la Velocidad de Infiltración en función de la textura del suelo.

Si bien es conocido que la textura, el grado de compactación y el contenido de humedad existente en el suelo inciden en la velocidad de infiltración del agua, estos no son los únicos factores a considerar. Una representación del movimiento del agua

en el suelo para diferentes estructuras del suelo se aprecia en la figura 11 según Fontanet (2014).

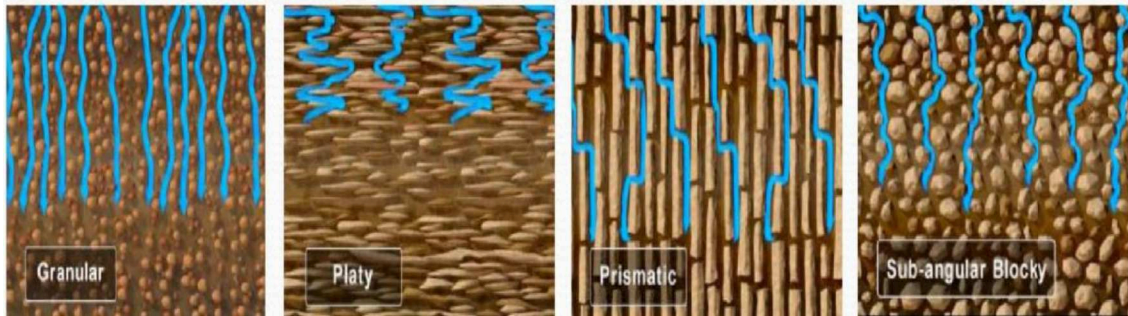


Figura 1.10. Representación del movimiento del agua en el suelo para diferentes estructuras de suelo (granular, laminar, prismática y cúbica).

Como se puede observar, este movimiento depende también de la estructura del suelo. Por tal motivo constituye un error pretender emitir un criterio de la velocidad de infiltración del suelo basándose exclusivamente en la textura del mismo.

En la figura 12 se representa el comportamiento del fenómeno de infiltración del agua en el suelo en función del tiempo (López-Santos y cols., 2012).

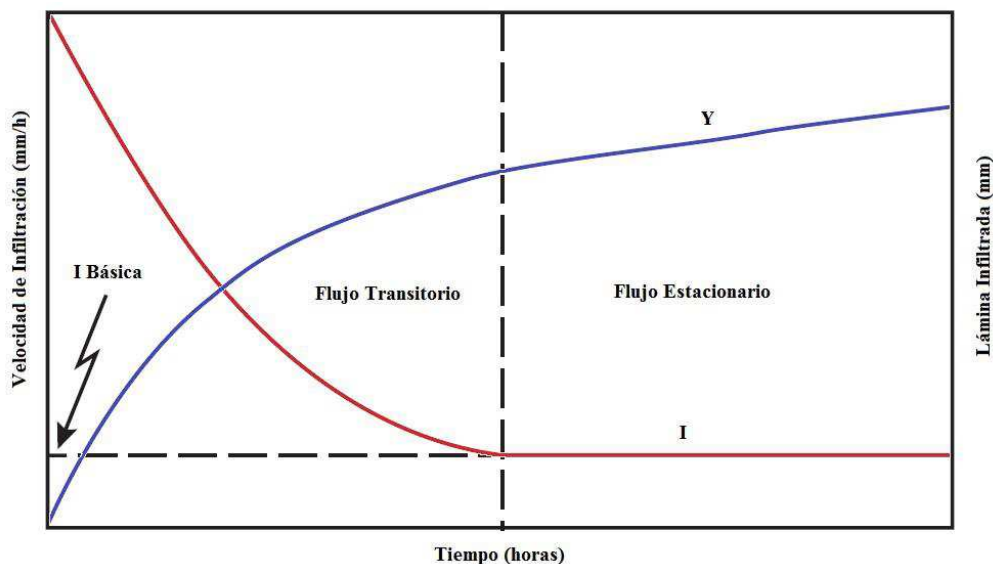


Figura 1.11. Modelo clásico que representa el fenómeno de infiltración e identificación de momentos de flujo (Transitorio y Estacionario).

En esta representación se muestra con una línea azul y simbolizada con la letra "Y" el comportamiento de la lámina infiltrada durante el proceso de infiltración del agua en

el suelo. Con línea roja y simbolizada con la letra "I", se muestra el comportamiento de la velocidad de infiltración a lo largo del tiempo. Como se puede observar, en los primeros minutos del proceso de infiltración, este parámetro alcanza los mayores valores que luego tienden a disminuir hasta alcanzar un valor estabilizado. La primera etapa corresponde al movimiento del agua en un suelo no saturado por lo que representa un flujo transitorio. Luego de alcanzarse la velocidad de infiltración básica ya el suelo está saturado y comienza a producirse el flujo estacionario. En este momento, el agua que se mueve en el suelo es la denominada Agua Gravitacional.

El modelo matemático que describe este fenómeno proviene de la Ecuación de Kostiakov (1932) y que posteriormente sirvió de referencia para la generación de modelos por otros autores. Los modelos empíricos y teóricos tradicionalmente utilizados para describir el proceso de infiltración (Kostiakov; Kostiakov-Lewis (K-L) y Horton y Philip (Ph) permiten obtener los parámetros hidráulicos del suelo ajustando ecuaciones simples a los datos experimentales (Landini y cols., 2007). Los autores recomiendan en los modelos, la utilización de variables de entrada, que sean de fácil obtención y bajo costo. En ese sentido, las funciones de pedotransferencia (FPT) (Tomasella y cols., 2003; Saxton y Rawls, 2006) apuntan a obtener los parámetros hidráulicos a partir de la medición sencilla de algunas propiedades del suelo.

Landini y cols. (2007) concluyen su estudio con la conclusión de que "los modelos de Kostiakov-Lewis y Philip son altamente eficientes para describir el comportamiento de la infiltración de agua en los suelos estudiados. Las diferencias observadas en las tasas de infiltración se atribuirían, más allá de la clasificación del suelo, a otros factores tales como el uso de la tierra y la influencia de la carga animal. Este último factor deberá ser estudiado en el futuro más intensivamente, teniendo en cuenta que son pocos los datos obtenidos hasta el momento".

La infiltración del agua en el suelo se puede determinar por diferentes formas. Tres de las técnicas comúnmente empleadas para medir la infiltración del agua en el suelo según Walker (1989) son:

- Técnica del Infiltrómetro de doble anillo: Esta técnica es una de las más utilizadas por la poca complejidad que requiere en comparación con las otras que se explicarán.

Consiste en penetrar el suelo con dos anillos de metal colocados de manera concéntrica. Los anillos pueden tener una altura de 30 a 40 cm y diámetros de: 30 a 40 cm (el cilindro interior) y de 50 a 60 cm el cilindro exterior (figura 13). De manera simultánea se suministra agua en ambos cilindros y se comienzan a realizar mediciones de los niveles de agua en el cilindro interior mediante de una regla con un flotante colocada en la parte superior. Se realiza un registro de los niveles infiltrados y de los suministros de agua para mantener los niveles estables en ambos cilindros a lo largo del tiempo. Las mediciones finalizan cuando se evidencia una infiltración estable a lo largo del tiempo. Como valor de referencia, esta infiltración suele estabilizarse posterior a los 60 minutos de prueba y su duración exacta depende de las características específicas de cada suelo.



Figura 1.12. Imagen del Infiltrómetro de doble anillo durante una prueba de infiltración.

- Técnica del estanque: Los estanques pueden ser creados a partir de hacer diques alrededor de un área en la superficie del suelo y operados de la misma manera y usando los mismos procedimientos discutidos arriba para los cilindros. El estanque se puede utilizar en pequeñas cuencas y otras áreas de superficie más grandes para evaluar las tasas de infiltración de una fracción mayor del campo. La desventaja de esta técnica es que los efectos de borde pueden ser significativos. Este problema puede ser superado prestando

especial atención al sellado del perímetro del estanque con arcilla compactada o instalando una barrera plástica. Los procedimientos operativos y de recopilación de datos, incluidos los formularios de registro de datos, son los mismos que para los Infiltrómetros de cilindro. La aplicación de la técnica del estanque a los surcos requiere una configuración de Infiltrómetro ligeramente diferente. La infiltración total en un surco consiste en agua que se mueve lateralmente a través de los lados del surco, así como verticalmente hacia abajo. Para ello se desarrolló un Infiltrómetro de surco "bloqueado" que reconoce esta característica especial de los surcos.

- Técnica del Infiltrómetro de reciclaje: La ventaja de esta técnica es que tanto las condiciones geométricas como hidráulicas encontradas durante el riego son simuladas durante el ensayo. Esto proporciona una mejor aproximación de las situaciones de campo reales que los métodos estáticos descritos anteriormente. Los cambios dinámicos en la interfaz suelo-agua deben ser simulados de forma realista. El movimiento de partículas en suspensión desarrolla una condición superficial diferente que bajo la superficie estática del agua. El caso estático tiende a formar una capa de suelo más impermeable de lo que ocurriría en las condiciones habituales de flujo por tierra. Se instala un sumidero en cada extremo de una sección de surco de 5 a 6 metros de longitud. Los sumideros deben ser enterrados cuidadosamente en el suelo de manera que el sumidero invertido corresponda con la elevación del lecho de surco. El agua es bombeada desde el depósito de suministro de agua a través de una manguera en el sumidero de entrada de surcos (figura 14). A continuación, avanza a través de la sección de prueba de surco y se recoge en el sumidero de agua de cola. Otra bomba traslada el agua al depósito de agua. La descarga en el sistema puede ser regulada por varias válvulas para mantener un nivel de agua constante en el sumidero de agua de cola.

Diversos factores inciden en la modificación de la Velocidad de Infiltración del suelo.

Arcos (2010) estudió la "Influencia de la Cobertura Vegetal en la Capacidad de Infiltración de Agua en los suelos de Páramo". En su estudio (desarrollado en la región de Papallacta en Pichincha, Ecuador) concluye que el manejo a través de quemas es común en este tipo de ecosistemas, lo cual afecta principalmente a la

cobertura vegetal. Además genera una homogenización de la vegetación, lo cual afecta a la capacidad de captura de agua en el páramo. Actividades como el pastoreo, la agricultura y las quemas afectan directamente la capa de vegetación superficial, la cual tiene influencia en las tasas de infiltración de diferentes tipos de vegetación de páramo. Planes de conservación pueden centrarse a proteger la cobertura vegetal y la concentración de biomasa para que los páramos cumplan su función de reguladores hídricos de una manera eficiente.

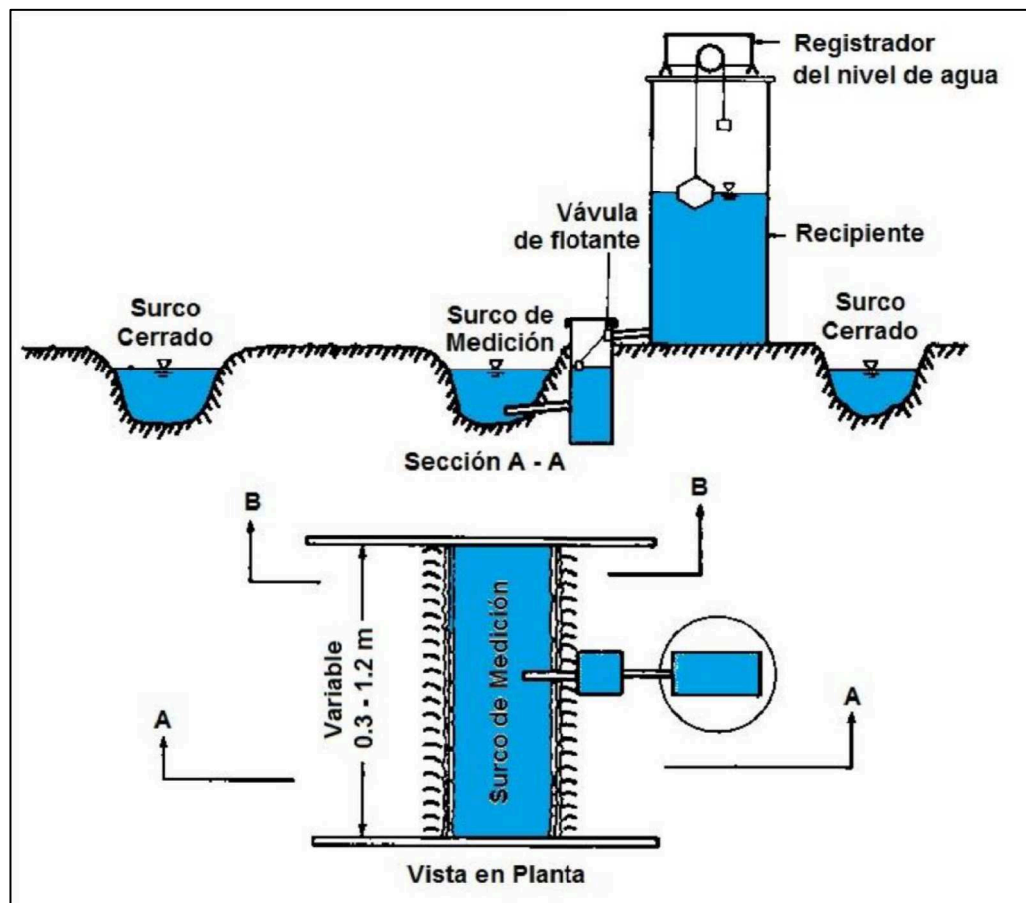


Figura 1.13. Esquema ilustrativo de la técnica del infiltrómetro de reciclaje para medir la velocidad de infiltración en surcos.

Crespo y Otero (2011) analizaron el efecto de la plantación de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 en la variación de las propiedades físico-químicas de los suelos en la granja Picadura en Cuba.

López-Santos y cols. (2012) consideran que la forma de ejecutar la labranza del suelo puede tener un efecto importante en la mejora de la velocidad de infiltración de los suelos.

La velocidad de infiltración del suelo no solamente es un parámetro indispensable para diseñar un sistema de riego certero. Prieto-Méndez y cols. (2013) consideran la velocidad de infiltración, de conjunto con otros parámetros, como uno de los índices para evaluar la calidad de los suelos.

Similar resultado presentó Leyva (2013) al valorar los indicadores de calidad para el diseño e implementación de tecnologías de manejo en Luvisoles de la zona norte de la provincia de las Tunas en Cuba. En este estudio, partir de la propuesta de Landon (1984) para categorizar la velocidad de infiltración de los suelos según su magnitud (figura 15) y de otras consideraciones, se llega a una propuesta interesante que relaciona la velocidad de Infiltración con la Densidad Aparente del suelo.

Velocidad de infiltración (mm h^{-1})	
Muy lenta	< 2
Lenta	2 – 5
Moderadamente lenta	5 – 20
Moderada	20 – 60
Moderadamente rápida	60 -125
Rápida	125 – 250
Muy rápida	>250

Figura 1.14. Criterios de interpretación de la Velocidad de Infiltración.

Mejía (2014) estudió el efecto de la rehabilitación y el manejo de suelos endurecidos con el uso de plantas germinadas en Ecuador.

Por su parte, Mendoza y Valdéz (2015) concluyen en su trabajo sobre el efecto de la labranza mecanizada en la productividad del cultivo del maíz, que las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo no se alteraron con las variantes de mecanización del suelo analizadas en su estudio y que la hipótesis de que la labranza cero tendrá menor impacto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y por ende mayor influencia en la productividad del cultivo de maíz H. Trueno” se rechaza en las variables productivas peso de semillas y rendimiento en kg/ha porque en la labranza convencional y Mínima aumentó el rendimiento en el cultivo de maíz.

Con estas evidencias presentadas se pretende mostrar cuáles son los resultados más recientes que se han generado en diferentes países relacionados con las propiedades

Hidrofísicas de los suelos y de manera muy especial sobre la Capacidad de Campo y la Velocidad de Infiltración. En el siguiente capítulo se procederá a realizar una caracterización detallada de la zona de estudio, así como de los materiales y procedimientos empleados en esta investigación.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización de la zona de estudio.

La provincia Manabí: Población y Superficie.

Manabí está ubicada en la costa oeste de Ecuador, posee una superficie general de 18 940 km² que equivale a 1 894 000 ha. Su población supera 1.3 millones de habitantes. El porcentaje de ocupación de la población económicamente activa, diferenciada por género se puede apreciar en la figura 16 según los reportes del INEC (2010).

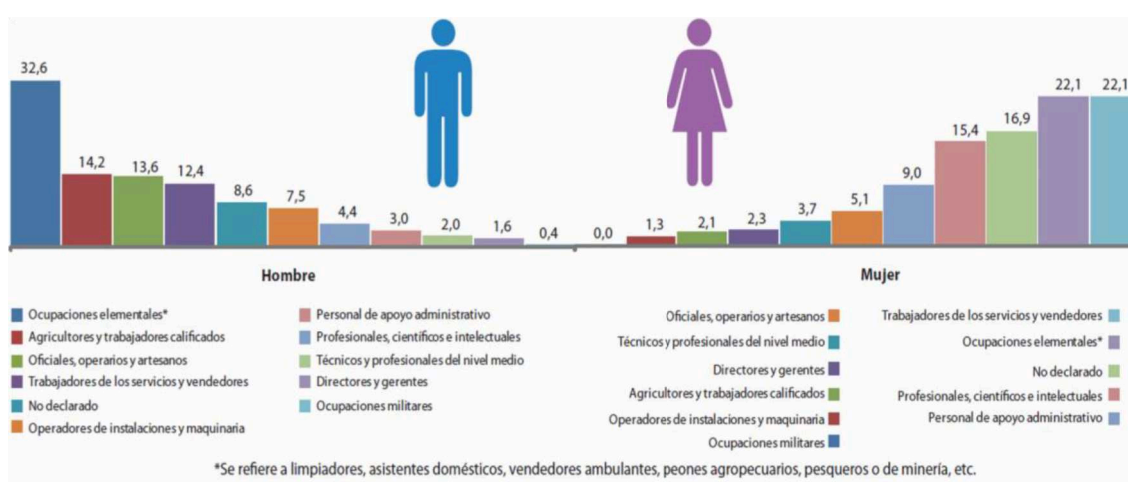


Figura 2.1. Porcentaje de ocupación de la población económicamente activa diferenciada por género (INEC, 2010).

Como se puede apreciar, un 14.2 % de los hombres se desarrollan como agricultores y trabajadores calificados a lo cual se le suma un 2.1 % de la población femenina. En estos porcentajes no está incluido el sector de la población que se vincula con la actividad agrícola como son las ocupaciones elementales (que incluye a los peones agropecuarios) ni tampoco otras ocupaciones que de manera indirecta se relacionan con las cadenas productivas de la agricultura.

Recursos Hídricos, Clima, y Riego.

Según los estudios Hidrológicos de la Secretaría del Agua (2017), esta provincia está ubicada dentro de la zona que posee el 18 % del Potencial Hídrico del país (figura 17). Esta situación contrasta con el 88 % de la Población del país que reside en esa

Región. Sin embargo, aún bajo este desbalance que se evidencia en la figura 16, la Dotación Media es de 5 000 m³/año/hab. Lo cual está por encima de la Dotación Crítica Mundial (5 000 m³/año/hab.).

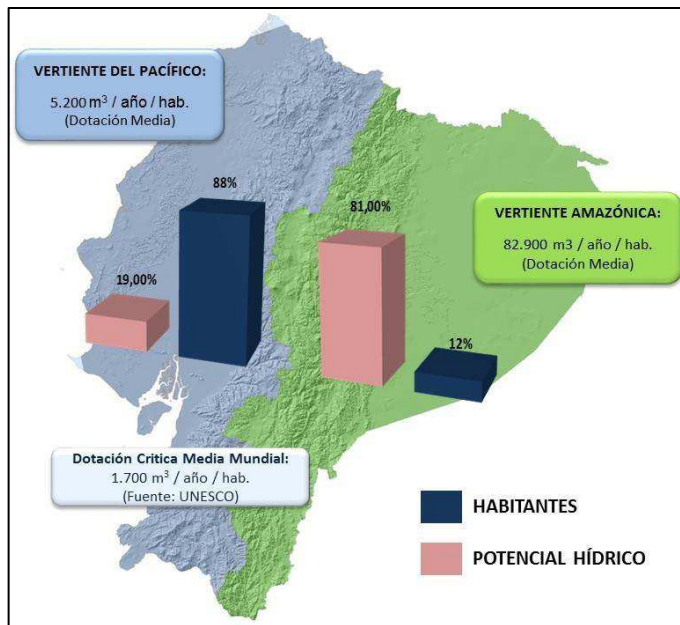


Figura 2.2 Dotación de Agua por Habitante y por Regiones en Ecuador (Secretaría del Agua, 2016).

Con respecto a los Recursos Hídricos, la Provincia está dividida en 12 Unidades Hidrográficas (Cuencas) que a su vez se subdividen y codifican hasta el nivel 5 (figura 18).

Es válido señalar que entre esas Unidades Hidrográficas de encuentra la Unidad con código 1516 correspondiente al Río Chone que es el contexto donde se desarrolló esta investigación.

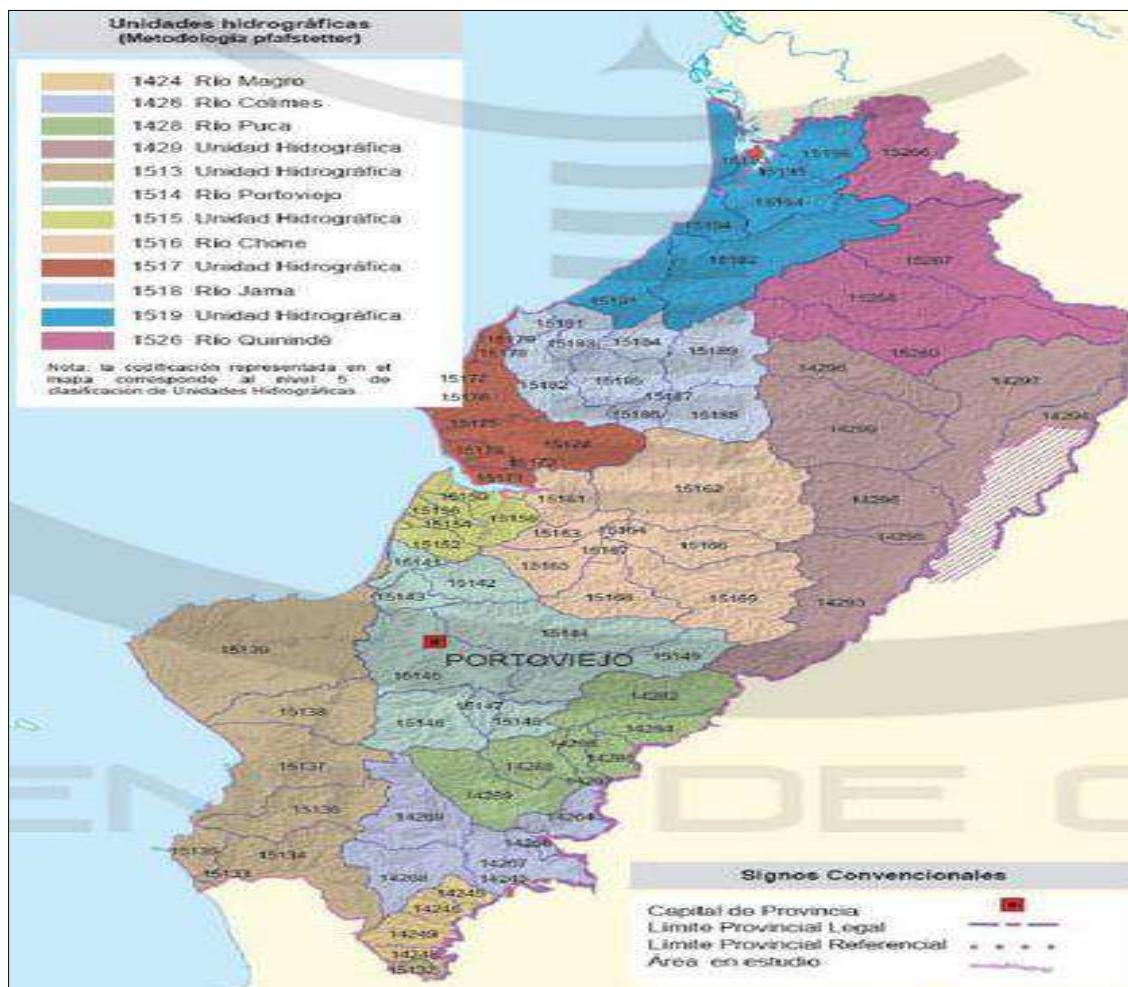


Figura 2.3. Representación de las 12 Unidades Hidrográficas (Cuencas Hidrográficas) correspondientes a la Provincia Manabí (IGM, 2012).

Como Demarcación Hidrográfica, Manabí presenta condiciones climáticas que se describen de forma gráfica en la figura 19. Tanto la precipitación como la temperatura varían temporal y espacialmente. Así en el año, la precipitación puede presentar una variación de 300 a 1800 mm, teniendo las máximas precipitaciones en las zonas de altas montañas. El periodo de lluvias se produce de Diciembre a Mayo, teniendo pequeñas lloviznas (no alcanzan los 50 mm/mes) el resto del año. Las precipitaciones tienden a ser similares cada temporada, exceptuando los años en que se produce el fenómeno climático de “El Niño”. Estos años pueden registrar el doble de la precipitación normal, de igual manera, el periodo de lluvias puede extenderse durante todo el verano teniendo así un mínimo de 12 meses continuos de lluvias; conllevando al colapso de los sistemas de control de inundaciones y en consecuencia

desencadenarlas principalmente en las zonas bajas del centro de la demarcación (Zambrano, 2014).

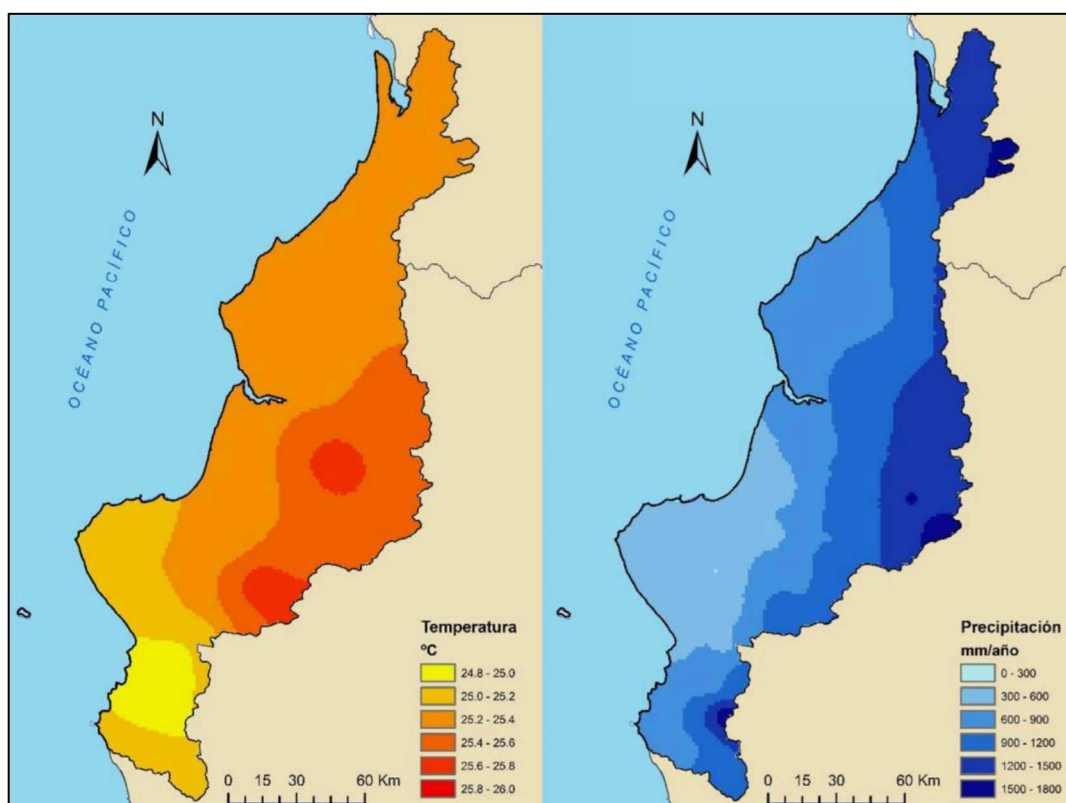


Figura 2.4. Comportamiento espacial de la Temperatura y la Precipitación en la Demarcación Hidrográfica de Manabí (Zambrano, 2014).

Las fuentes de abasto más comunes para el riego cuantificadas por la superficie cultivada que las mismas benefician son: los cauces naturales (49.74 %), canales de riego (24.50 %), pozos (20.52 %), reservorio de agua de lluvia (2.38 %) y otras fuentes (2.87 %).

La distribución de las técnicas de riego empleadas según reportes del INEC (2014) se puede resumir en la figura 21, donde se aprecia que el 66 % de la superficie es beneficiada por bombeo, seguido de un 21.75 % de riego por gravedad y un 8.38 % de superficie regada por aspersión.

Suelos y Cultivos.

Manabí es la provincia con mayor superficie agropecuaria con 1.2 millones de hectáreas, dejando solo un promedio de 694 000 ha como zonas para otros usos.

Como se puede observar en la figura 20, una extensión considerable de los suelos en la Provincia está destinado a los pastos y a los cultivos de ciclo corto.

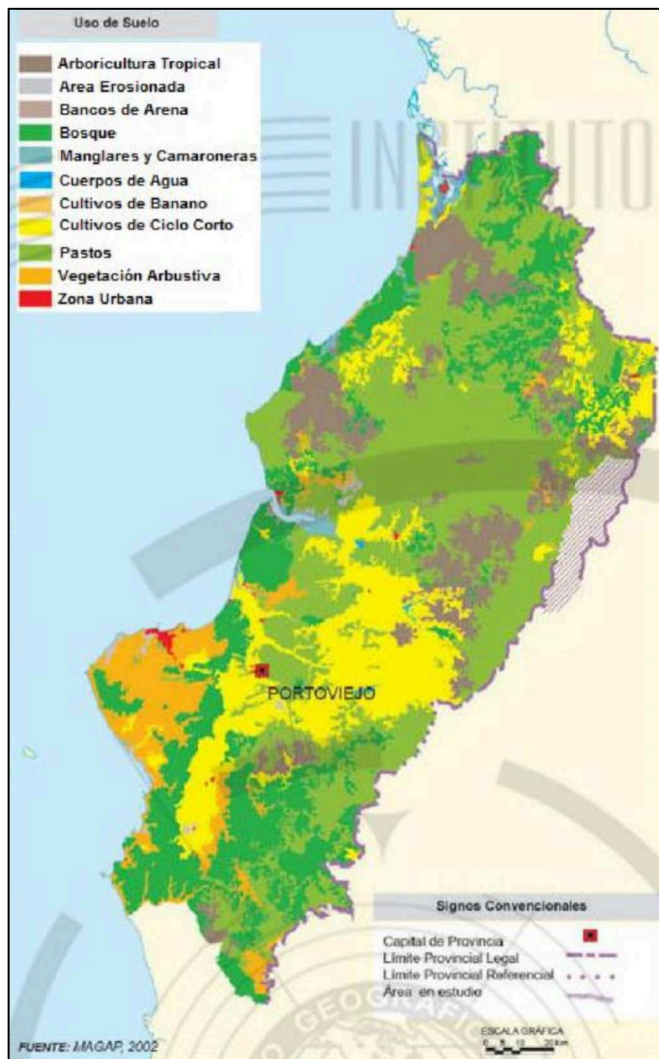


Figura 2.5. Usos de suelo en la Provincia Manabí según reportes del Instituto Geográfico Militar (IGM, 2012).

Los cultivos permanentes en Manabí abarcan una superficie sembrada de 475 622 ha, dentro de estos cultivos se destacan por sus producciones, el Cacao, el Café, el Plátano y los Cítricos. Estos cuatro cultivos permanentes representan más del 50 % de la producción total de la provincia. Mientras que para el caso particular del café, se destaca que el 24% de producción nacional se ejecuta en la provincia de Manabí. En la figura 21 se ofrece la distribución porcentual de cada cultivo con respecto al área total sembrada de cultivos permanentes en Manabí.

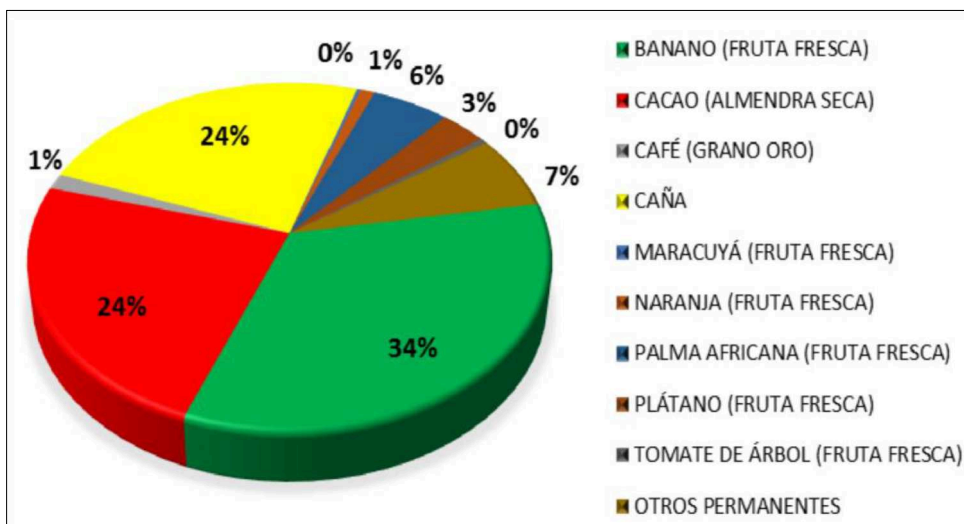


Figura 2.6. Cultivos Permanentes en Porcentajes del Área Total cultivada en Manabí.

Los cultivos transitorios (ciclo corto) ocupan una superficie de 98 224 ha de las cuales el 57.5 % de la superficie está dedicada al cultivo del arroz y el 20.1 % al cultivo del maíz. En la producción de este último cultivo la provincia Manabí ocupa el tercer lugar nacional (figura 22).

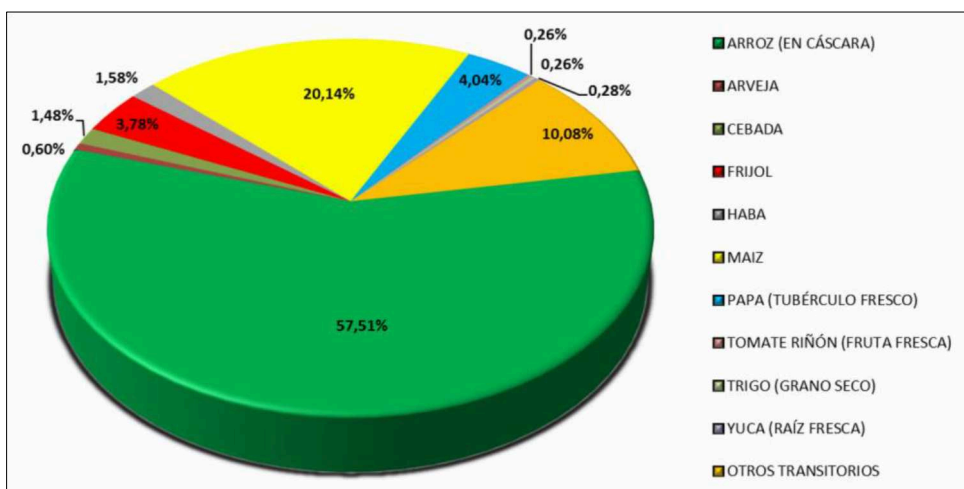


Figura 2.7. Cultivos Transitorios en Porcentajes del Área Total cultivada en Manabí.

La distribución porcentual de los métodos y técnicas de riego empleadas según reportes del INEC (2014) se puede apreciar en la figura 23.

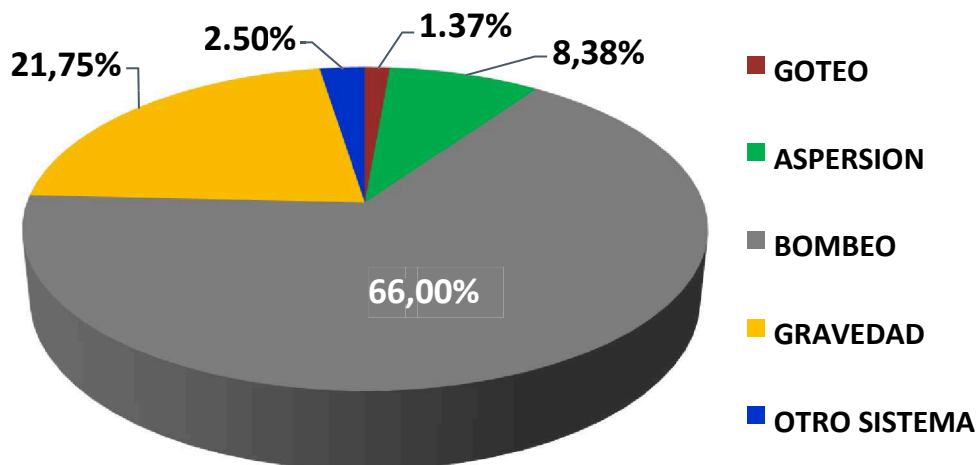


Figura 2.8. Técnicas y Métodos de Riego empleadas en Manabí expresadas en porcentaje del área total de riego que benefician durante el año 2013.

Como se puede valorar, no existe una diversificación en cuanto a métodos ni técnicas de riego en el país, ni tampoco en la provincia Manabí. Se emplea mayoritariamente el riego superficial, lo cual repercute en que no se economizan los recursos hídricos, ni se emplean a partir de análisis de factibilidad técnica sustentados en criterios de suelo, clima, demanda de los cultivos y aspectos económicos de los sistemas de riego, entre otros factores.

2.2 El Cantón Chone.

Este proyecto de investigación se encuentra ubicado en el Cantón Chone, perteneciente a la Provincia Manabí en Ecuador (figura 24). Sus coordenadas se ubican en $0^{\circ} 41' 0''$ S y $80^{\circ} 6' 0''$ W. Su altitud máxima sobre el nivel del mar asciende a 560 m y la mínima es de 5 aproximadamente. Este Cantón fue fundado el 7 de Agosto de 1789 y cuenta con una superficie total de 3 570.6 km² distribuidos en 9 parroquias: dos parroquias urbanas (Chone y Santa Rita) y 7 parroquias rurales (Canuto, Convento, Chibunga, San Antonio, Eloy Alfaro, Ricaurte y Boyacá). La población de Chone supera ya los 126 mil habitantes (INEC, 2010).

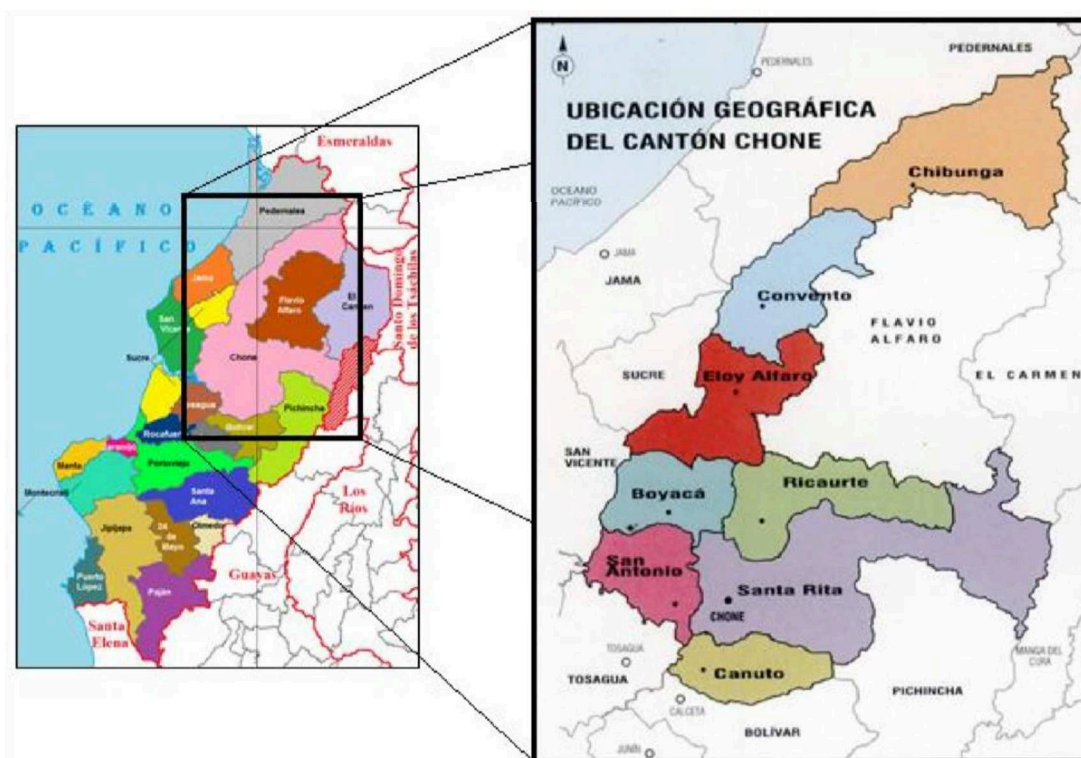


Figura 2.9. Ubicación del Cantón Chone dentro de la Provincia Manabí.

La distribución porcentual de las Categorías y el Uso de la Tierra del Cantón Chone se puede apreciar en la figura 25.

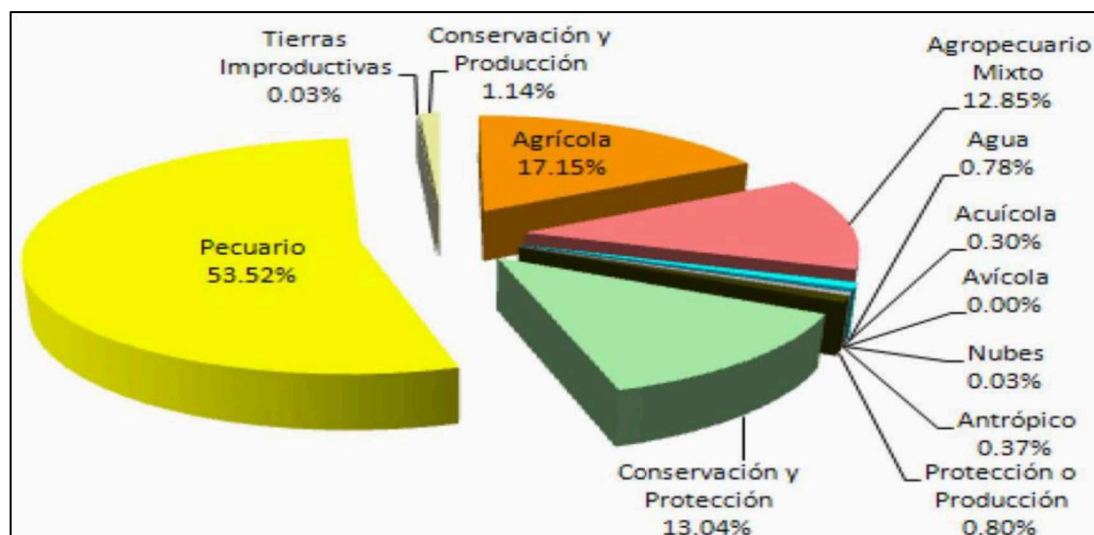


Figura 2.10. Categorías y uso de la Tierra del Cantón Chone (IEE y MAGAP, 2013).

En esta figura resulta evidente que el mayor porcentaje está destinado al sector Pecuaria (53.52 %) seguido del el uso con fines agrícolas (17.15 %) lo que evidencia

que es una región destinada mayoritariamente a la ganadería y producción de alimentos. Este uso de la tierra tiene una marcada influencia sobre las propiedades del suelo, como ya fue descrito en el capítulo I.

Otro elemento a tener en cuenta en las proyecciones de desarrollo agropecuario es el tamaño de las Parcelas u las UPAs. En función de este parámetro es que deberán definirse las estrategias de desarrollo a gran escala que abarquen infraestructuras como los viales y las redes hidráulicas para riego. En las tablas 3 y 4 se muestran respectivamente las categorías de las UPAs (Unidades de Producción Agropecuaria) Parcelas y las parcelas atendiendo a su extensión y al porcentaje de existencia en el Cantón Chone, según reportes del IEE y MAGAP (2013).

Tabla 2.1. Categorías de las UPAs atendiendo a su extensión y al porcentaje de existencia en el Cantón Chone.

Tamaño de UPAs	Número de UPAs	Número de UPAs (%)	Sup. (ha)	Sup. (%)	Superficie por UPA (ha/UPA)	(Relación cantón/ Provincia) (%)
UPAs ≤ a 10 ha	3 002	39	10 957	3	4	6
UPAs 10 a ≤ 50 ha	2 931	38	74 098	24	25	15
UPAs > a 50 ha	1 714	23	226 712	73	132	24
Total	7 647	100	311 767	100		

Tabla 2.2. Categorías de las Parcelas atendiendo a su extensión y al porcentaje de existencia en el Cantón Chone.

TAMAÑO DE PARCELAS DEL CANTÓN CHONE		
TAMAÑO	AREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Grandes > 50 hectáreas	179 772,76	58,87
Medianas >10 hasta 50 hectáreas	48 901,99	16,01
Pequeñas hasta 10 hectáreas	28 825,38	9,44
No aplicable	47 888,97	15,68
TOTAL	305 389,11	100,00

Como se puede observar en la tabla 3, a pesar de que hay un predominio de las UPAs como unidad económica inferior a las 10 ha (39 %), en la tabla 4 existe un predominio evidenciado (58.87 %) del tamaño de las parcelas Grandes que son las superiores a 50 ha.

Recursos Hídricos y Riego.

Según IEE y MAGAP (2013), el Cantón Chone tiene 5 587,03 ha (1,83 %) con algún sistema de riego, localizadas en el centro y sur del cantón. Una superficie de 251 914,99 ha agroproductivas no tiene riego (82,49 %). Las restantes 47 887,09 ha, que corresponden al 15,68 %, tienen la categoría de “no aplicable”, pues son zonas naturales, las mismas que se muestran en la tabla 5.

Tabla 2.3. Porcentaje del área con riego y sin riego en Chone (IEE y MAGAP, 2013).

RIEGO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Con Riego	5 587,03	1,83
Sin Riego	251 914,99	82,49
No Aplicable	47 887,09	15,68
TOTAL	305 389,11	100,00

Con estos datos se argumenta la necesidad de acometer estudios y proyectos que permitan potenciar el riego en el territorio, como lo ha sido la ejecución de la Primera Etapa del Proyecto Multipropósito Chone ubicado en la Cuenca del Río del mismo nombre y que está previsto para beneficiar 3 000 hectáreas de tierras cultivadas (figura 26).

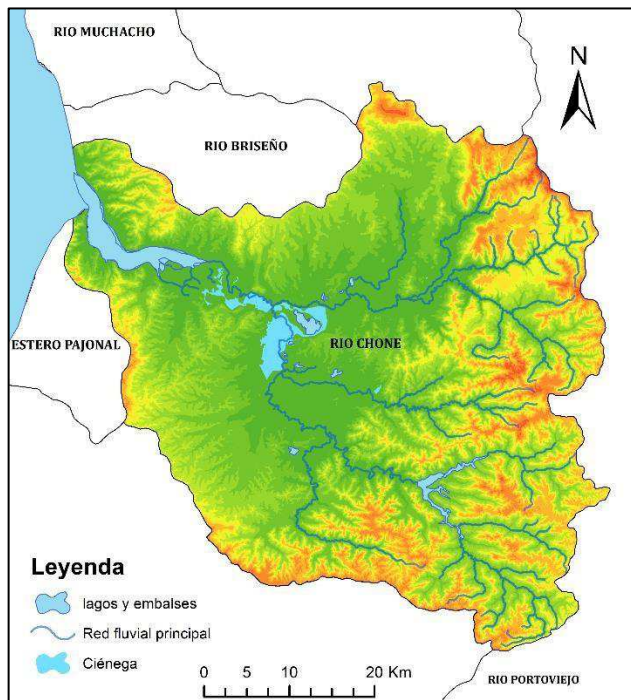


Figura 2.11. Cuenca del Río Chone.

2.3 El área de estudio en el Proyecto Multipropósito Chone.

En la figura 27 se muestra la ubicación del área vinculada al Proyecto Multipropósito Chone (3 mil ha) y una diferenciación por colores de la superficie para evidenciar los dos tipos de textura de suelo existentes en el área: textura media (predominante) y textura fina (en algunos sitios específicos).

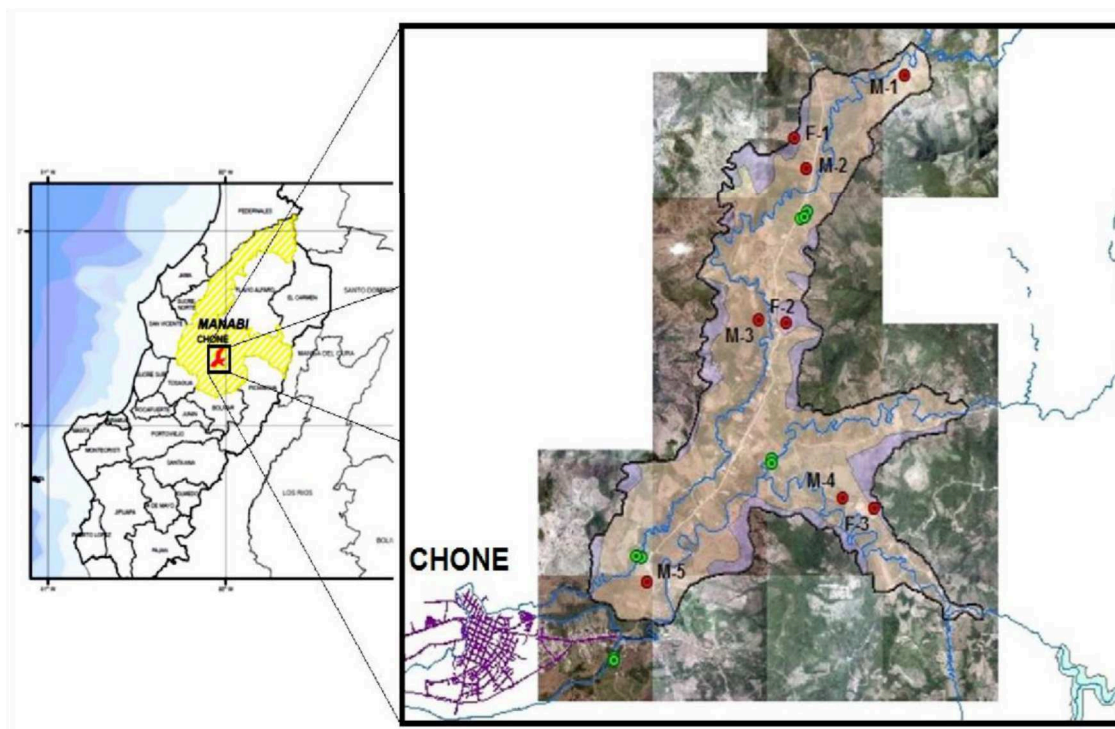


Figura 2.12. Área de estudio en el Proyecto Multipropósito Chone diferenciada por texturas de suelo según MAGAP (2016).

Sobre la consideración de la limitación de recursos financiero y el tiempo disponible para acometer esta investigación exploratoria, se decidió tomar muestras no probabilísticas para definir los puntos de observación en el campo.

A partir del criterio de Conveniencia se definieron 8 puntos para el estudio de los suelos.

La selección de los puntos de observación se realizó a partir de los siguientes criterios:

- Que estuvieran ubicados en las dos texturas de suelo (media y fina) en proporciones y ubicaciones acorde a la magnitud y distribución de las mismas.
- Que los puntos estuvieran ubicados en áreas asequibles con medios de transporte ligero.
- La existencia de energía eléctrica y fuentes de agua para poder disponer de los mismos durante la ejecución de las pruebas de campo.
- Que los suelos analizados estuvieran siendo utilizados con fines agrícolas y lo más alejado posible de influencias antrópicas que modificaran sus propiedades naturales.

A partir de estas consideraciones se definieron 8 puntos (tres para la textura fina del suelo: identificados como F-1, F-2 y F-3 y 5 puntos para la textura media del suelo: M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5) (figuras 27 y 28). El mapa de las texturas de suelo mostrado en la figura 27 fue tomado del MAGAP (2016) y su escala original fue de 1:250 000.

La ubicación espacial de dichos puntos y sus coordenadas se muestra con mayor detalle en la imagen satelital de la figura 28.

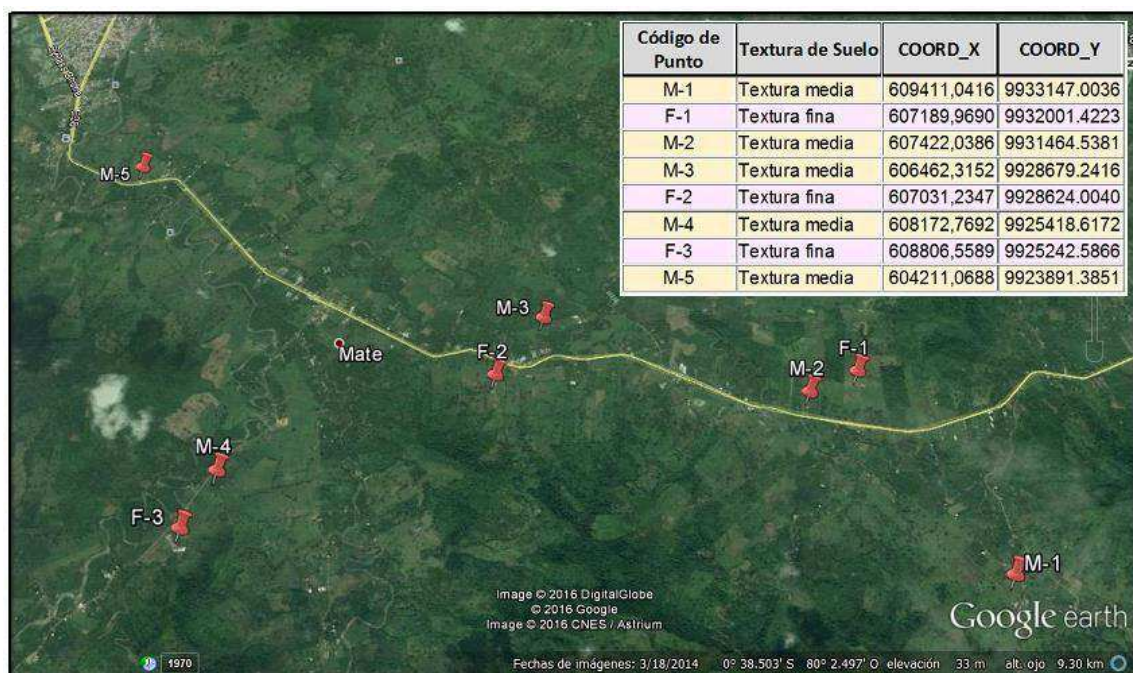


Figura 2.13. Imagen satelital con las coordenadas de los puntos de observación.

2.4 Desarrollo de las Pruebas de Campo.

Determinación de la Capacidad de Campo.

La capacidad de Campo se determinó por el método de la Plazoleta de Inundación descrito brevemente en el Capítulo 1 de este trabajo. Las muestras de suelo se tomaron después de transcurridas 72 horas de la saturación a partir de considerar que los suelos eran de textura fina y media.

Se tomaron tres muestras para cada horizonte de 10 cm de espesor desde la superficie hasta 50 cm de profundidad (5 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm y 40-50 cm). Lo cual genera un total de 15 muestras de suelo.

Esta operación se efectuó para una réplica en la misma plazoleta según se muestra en la figura 29, lo cual generó un total de 30 muestras (dos perforaciones con 15 muestras en cada perforación).



Figura 2.14 Segunda perforación efectuada a las 72 horas de saturación del suelo.

Las muestras fueron pesadas "in situ" con una Balanza Electrónica de Plato hasta 200 g con Precisión de 0.01 g (figura 30).



Figura 2.15. Balanza electrónica empleada para pesar las muestras de suelo “in situ” y posteriormente en el laboratorio cuando fueron secadas.

Posteriormente las 30 muestras fueron conducidas al Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil ubicado en la Extensión Chone de la ULEAM. Allí fueron destapadas y colocadas en la estufa para secarlas durante 18 a 24 horas a una temperatura de 105 °C (figura 31).



Figura 2.16. Estufa empleada para secar las muestras de suelo en el laboratorio de la Extensión Chone de la ULEAM.

Una vez transcurrido este tiempo, y después de que las muestras volvieron a alcanzar la temperatura del ambiente fuera de la estufa fueron pesadas nuevamente en la misma balanza.

La diferencia de peso entre el suelo húmedo y seco fue determinada para cada una de las muestras por la siguiente expresión:

$$CH = \frac{PSH - PSS}{PSS - T} * 100$$

Donde:

CH: Contenido de Humedad (% PSS)

PSH: Peso de Suelo Húmedo (g)

PSS: Peso de Suelo Seco (g)

T: Tara o peso del recipiente vacío (g)

La aplicación de esta expresión matemática fue programada en una hoja de EXCEL para aplicar a cada una de las muestras de suelo. Su promedio obtenido por cada una de las profundidades para las dos réplicas permitió determinar el valor del CH correspondiente a la Capacidad de Campo de cada horizonte de suelo y el valor ponderado para cada punto analizado.

Este procedimiento fue aplicado a los 8 puntos de medición señalados en la figura 28.

Determinación de la Velocidad de Infiltración del Suelo.

La capacidad de Velocidad de Infiltración del Suelo se determinó por el método del Infiltrómetro de doble anillo descrito brevemente en el Capítulo 1 de este trabajo (figura 13).

Además de los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de los puntos de observación, se tuvo en cuenta para estas mediciones que el área donde se colocarían los anillos estuviera desprovista de vegetación y que fuera lo más horizontal posible

para garantizar una uniformidad de la lámina de agua sobre la superficie del suelo dentro de los anillos.

Después de insertar los anillos de forma concéntrica y nivelada en el suelo hasta 5 cm de profundidad, se procedió a colocar mantas impermeables dentro del área comprendida por cada anillo. Una vez llenados con agua hasta la misma altura ambas cavidades, se retiraron las mantas de manera simultánea y se comenzó a registrar las lecturas de nivel de agua en el anillo interior haciendo uso de una escala de niveles con un flotador (figura 32).



Figura 2.17. Colocación de los Anillos de Infiltración para la determinación de Velocidad de Infiltración del suelo en uno de los puntos de observación.

Las observaciones de niveles de agua y de los tiempos de cada observación fueron registradas en un modelo que posteriormente fue procesado en una hoja EXCEL. Una imagen del registro de campo de estas observaciones se puede apreciar en la figura 33.



Figura 2.18. Modelo empleado para el registro de los datos de Velocidad de Infiltración del suelo durante las pruebas de campo.

Vale aclarar que también fue necesario mantener un nivel de agua en ambos cilindros para lo cual se llevó el registro de los complementos de agua que se realizaron al anillo interior durante toda la prueba.

La prueba en cada punto se dio por terminada una vez que los valores de lámina infiltrada se estabilizaron en el tiempo. Esta condición estuvo en dependencia de las características específicas del suelo en cada punto. Como referencia se puede mencionar que la duración promedio de cada prueba estuvo en un intervalo de 100 a 120 minutos.

Una vez que fueron realizadas estas observaciones en los 8 puntos del área de estudio se procedió a insertar todas las observaciones en una hoja EXCEL que fue programada para graficar el comportamiento de la lámina infiltrada en el tiempo así como para encontrar la ecuación de mejor ajuste y los coeficientes de las mismas.

Los resultados obtenidos de estos procesamientos serán mostrados en el Capítulo III.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Resultados de las Pruebas de Campo.

3.1.1 Resultados de la determinación de la Capacidad de Campo.

Los resultados de las pruebas de Capacidad de Campo para los 8 puntos de estudio se muestran de manera individual en las figuras 34 a la 36 para los suelos de textura fina con un análisis comparativo para esta textura en la figura 37.

Posteriormente se muestra el comportamiento de la capacidad de campo en los suelos de textura media (figuras 38 a la 42) con un análisis comparativo de esta textura en la figura 43.

A modo de conclusión sobre este parámetro se ofrece la figura 44 con el comportamiento de los 8 puntos analizados.

Una descripción detallada del resultado en cada punto se muestra a continuación:

En la figura 34 se presenta el comportamiento de la capacidad de campo en el punto F-1. Como se puede apreciar, este parámetro alcanza su mayor valor en el horizonte superficial (43 % pss). A partir de los 20 cm se inicia una reducción que se estabiliza de los 30 a 50 cm de profundidad en valores muy cercanos al 38 % pss.

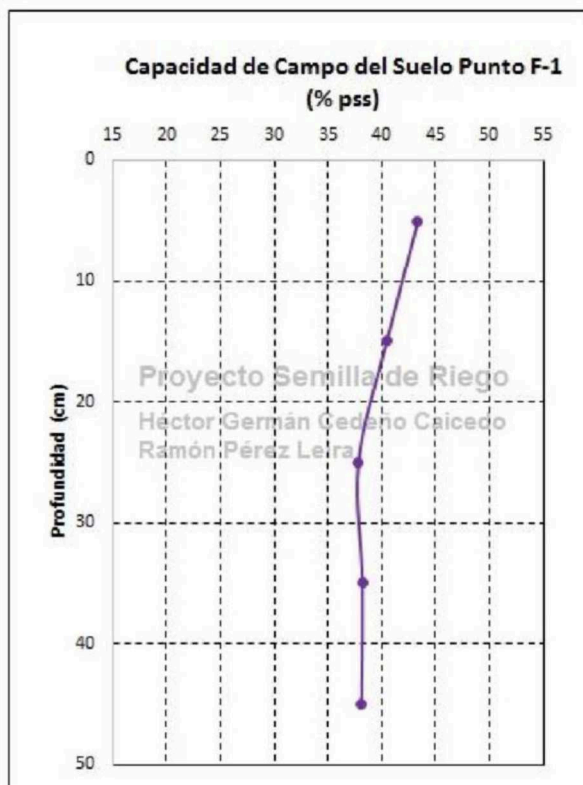


Figura 3.1. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto F-1.

En la figura 35 se observa el comportamiento de la capacidad de campo en el punto F-2. Aquí se aprecia un comportamiento similar de valor máximo en la superficie (40 % pss) que luego disminuye de manera drástica con la profundidad hasta alcanzar un 23 % pss en el horizonte de 50 cm.

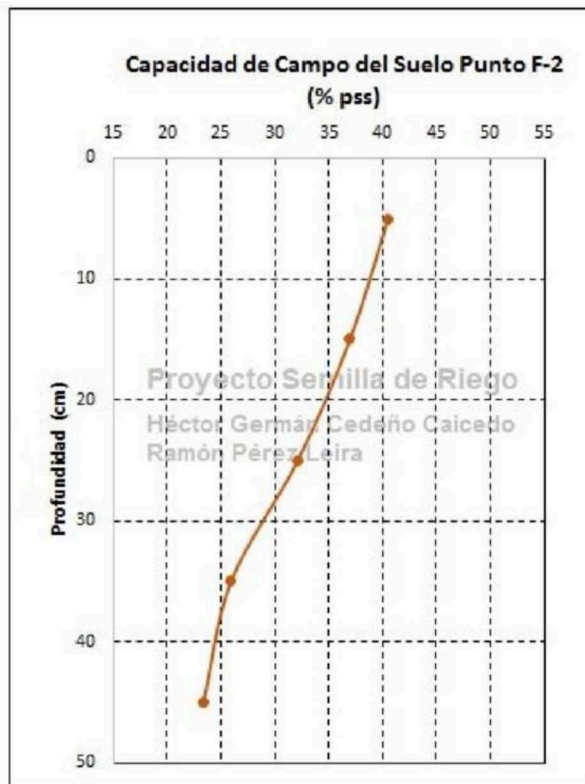


Figura 3.2. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto F-2.

El comportamiento de la capacidad de campo en el punto F-3, mostrado en la figura 36, refleja una tendencia más estable que los anteriores. Aquí los valores oscilan en todo el perfil en valores que están entre 33 y 38 % pss.

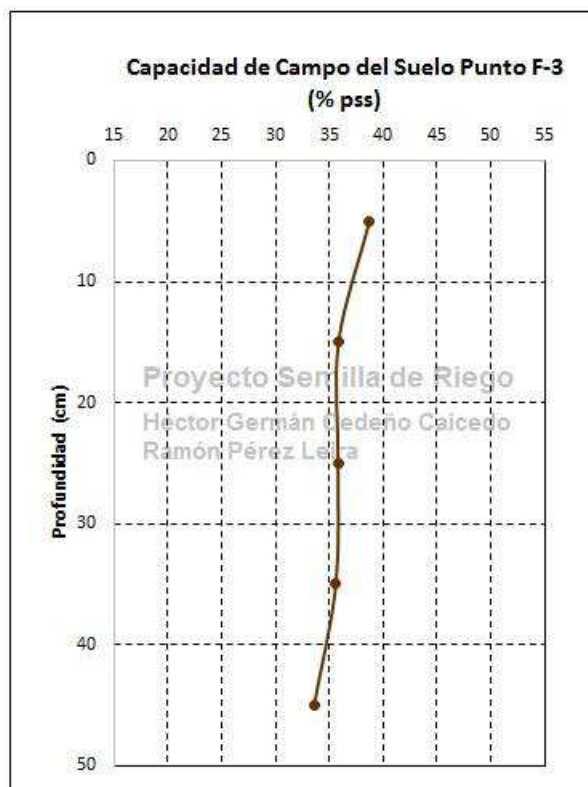


Figura 3.3. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto F-3.

Si se analiza de forma comparativa el comportamiento de la capacidad de campo en los 3 puntos ubicados en suelos de textura fina se observa una tendencia similar. Esto se puede comprobar en la figura 37.

Los valores máximos se presentan cercanos al 40 % pss en el horizonte superficial que posteriormente disminuyen con la profundidad hasta alcanzar valores entre el 23 y 38 % pss.

Es importante señalar que en las áreas donde se realizaron las pruebas hay ausencia de remoción del suelo por un largo período de tiempo. Por tal motivo la compactación de estos suelos es un elemento que influye en la porosidad y en la dificultad que tiene al agua para poder infiltrarse hacia las capas más profundas.

La diferencia entre esos altos valores de Capacidad de Campo alcanzados en la superficie con relación a los valores disminuidos en la profundidad puede estar asociada a esos niveles de compactación que pudieron apreciarse durante otras pruebas realizadas de manera simultánea a este estudio.

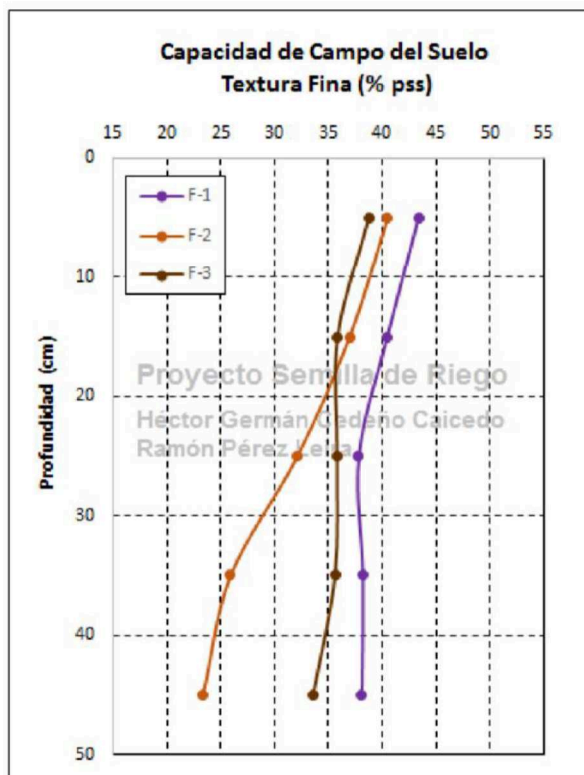


Figura 3.4. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad para los 3 puntos en suelo de textura fina.

En la figura 38 se aprecia el comportamiento de la capacidad de campo del suelo para el punto M-1. Se observa un incremento de este parámetro para los horizontes más profundos con respecto a los primeros 20 cm de suelo (donde se alcanzan valores cercanos al 38 % pss), llegando a alcanzar un valor máximo que supera al 53 % pss a los 50 cm de profundidad.

Algo similar en la superficie sucede en el punto M-2 con la capacidad de campo que se acerca al 36 % pss (figura 39). En este punto se evidencia un comportamiento más estable del parámetro en todo el perfil de suelo estudiado. Los valores oscilaron entre el 32 y el 43 % pss.

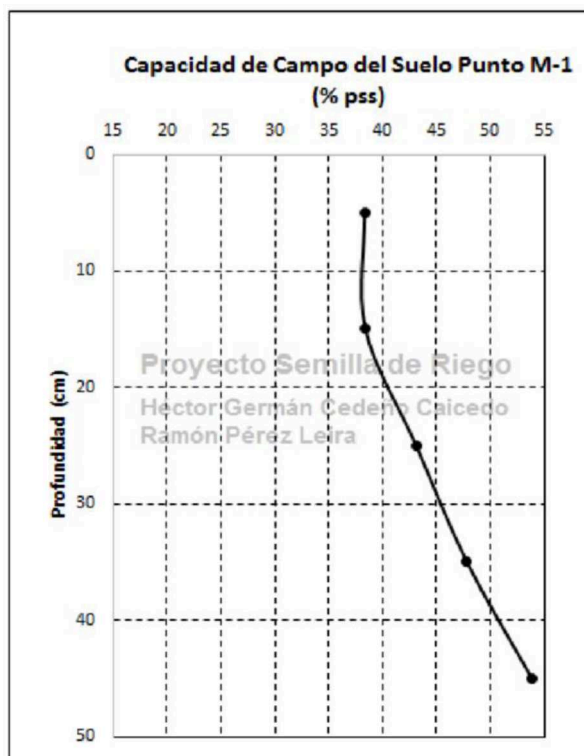


Figura 3.5. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto M-1.

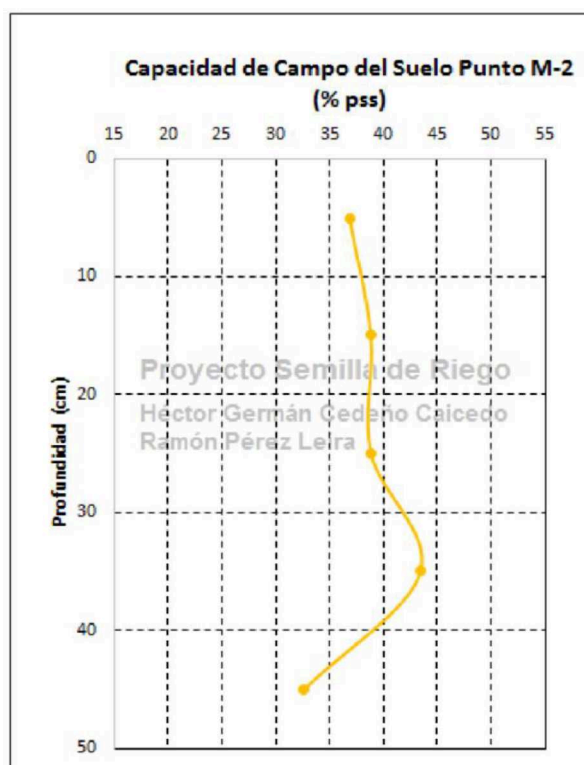


Figura 3.6. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto M-2.

En la figura 40 se aprecia el comportamiento de la capacidad de campo del suelo para el punto M-3. Se observa un decremento de este parámetro para los horizontes más profundos con respecto a los primeros 20 cm de suelo (donde se alcanzan valores cercanos al 38 % pss), llegando a alcanzar un valor mínimo de 15 % pss a los 50 cm de profundidad.

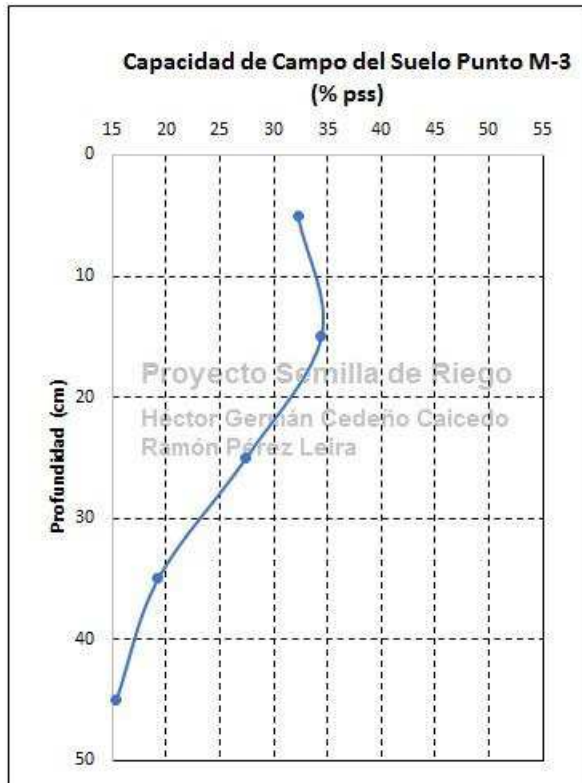


Figura 3.7. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto M-3.

Una tendencia más inestable de la capacidad de campo se observa en la figura 41 se para el punto M-4. Los valores registrados oscilaron entre 43 y 30 % pss.

A diferencia de este resultado en el punto M-5 se obtuvo un comportamiento más estable de la capacidad de campo. En este punto los valores oscilaron entre 43 y 49 % pss (figura 42).

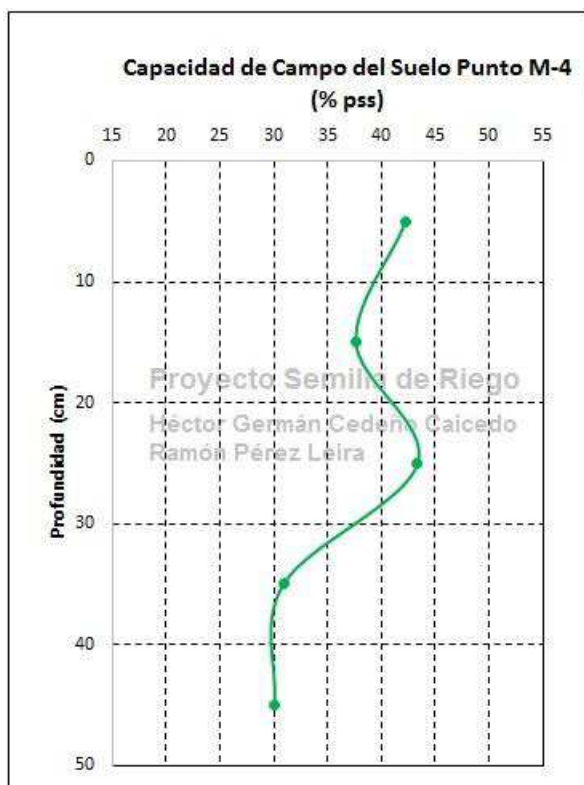


Figura 3.8. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto M-4.

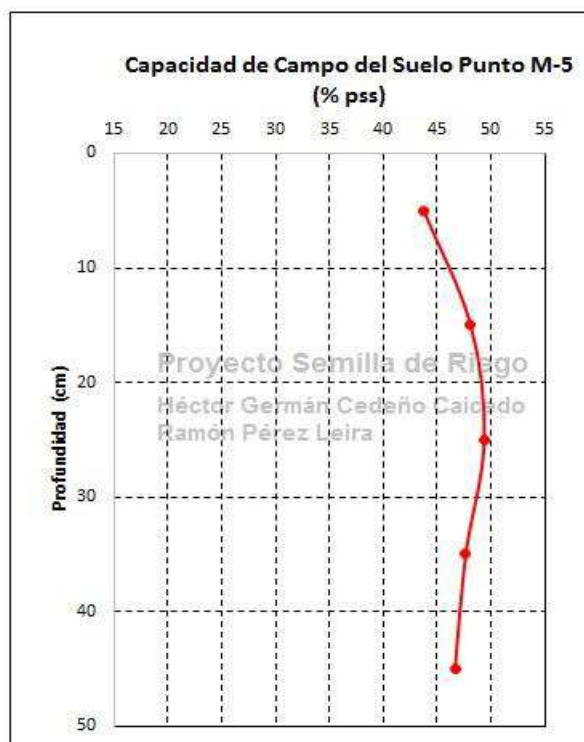


Figura 3.9. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad en el punto M-5.

Si se comparan los resultados de la capacidad de campo por estratos de suelo para los cinco puntos analizados en el suelo de textura media (figura 43) se puede comprobar que los valores presentan un mayor acercamiento en los horizontes superiores (0-20 cm) y posteriormente manifiestan una tendencia a la dispersión en la medida que la profundidad se incrementa.

Así se evidencian valores de capacidad de campo en los horizontes superficiales (0-20 cm) que oscilan entre 32 y 43 % pss mientras que en los horizontes más profundos el intervalo se expande desde 15 hasta 53 % pss según se muestra en la figura 43.

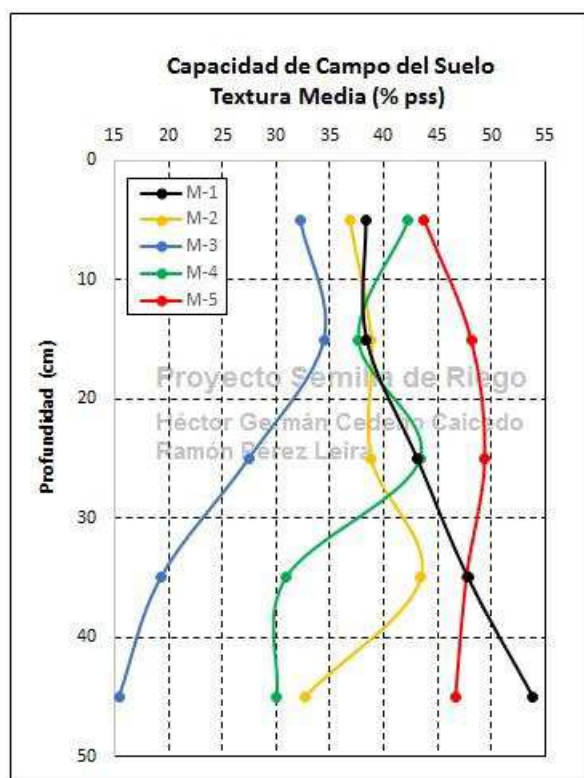


Figura 3.10. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad para los 5 puntos en suelo de textura media.

En una representación comparativa de los 8 puntos estudiados (figura 44) se obtiene un resultado similar.

Esta dispersión de los valores de capacidad de campo con las profundidades del suelo puede tener causas similares a las expuestas en el comentario de la figura 37 así como a la existencia comprobada de un horizonte a partir de los 20 cm de profundidad con otra coloración, lo cual sugiere que hay un cambio en las propiedades hidrofísicas del suelo (figura 45).

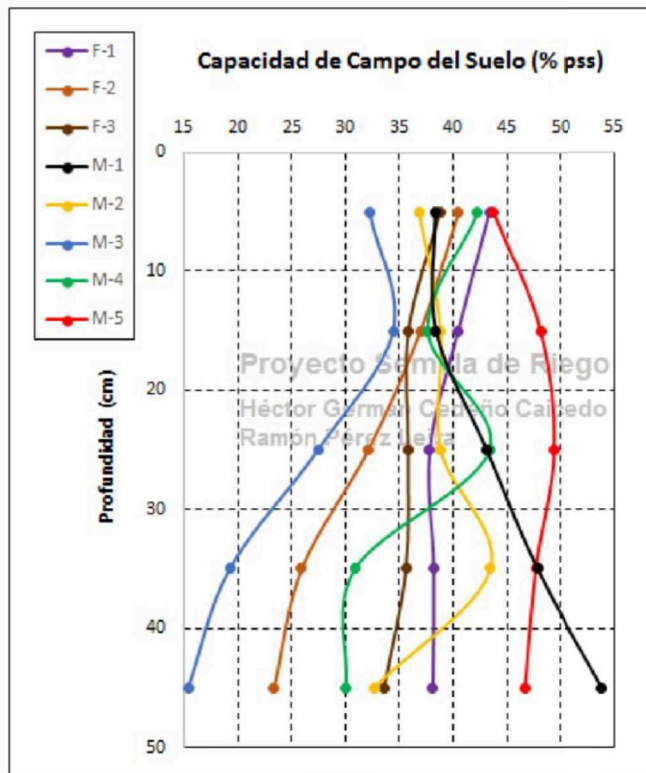


Figura 3.11. Comportamiento de la Capacidad de Campo en los diferentes estratos de suelo hasta 50 cm de profundidad para los 8 puntos estudiados.



Figura 3.12. Calicatas en dos de los puntos estudiados donde se evidencia el cambio de coloración en el tipo de arcilla del suelo a partir de los 20 cm de profundidad.

Como conclusión parcial de este análisis se puede resumir que los resultados del estudio del comportamiento de la Capacidad de Campo en los suelos de textura fina ofreció valores promedio que están en el intervalo de 31 a 40 % pss. En cambio, para los suelos de textura media estos valores estuvieron en el intervalo de 35 a 40 % pss. En ambas texturas se pudo comprobar un comportamiento más estable para los primeros 20 cm de profundidad y una mayor variabilidad de los valores en las profundidades de 30 a 50 cm.

A pesar de que los datos tomados en este estudio exploratorio no son suficientes, es posible percibir una asociación entre el comportamiento de la Capacidad de Campo con su ubicación espacial atendiendo a la textura del suelo. Se aprecia que existe una correspondencia entre los valores más altos de esta propiedad con su ubicación en zonas declaradas con textura media así como los menores valores de Capacidad de Campo estuvieron localizados en suelos declarados con textura fina.

3.1.2 Resultados de la determinación de la Lámina Infiltrada y la Velocidad de Infiltración del suelo.

El resultado de las pruebas de infiltración realizadas en el campo se muestra a continuación en las figuras 46 a la 53 donde se reflejan simultáneamente la lámina infiltrada acumulada y la velocidad de infiltración acumulada en función del tiempo.

En la figura 46 se aprecia el comportamiento de la lámina acumulada en función del tiempo para el punto F-1. La prueba tuvo una duración de 150 minutos durante los cuales se acumuló una lámina superior a los 600 mm.

La curva de mejor ajuste resultó ser para una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 (coeficiente de determinación) superior a 0.98.

Esta expresión concuerda plenamente con el modelo matemático de Kostiakov (1932) en el cual Y corresponde con la Lámina Infiltrada, X es el tiempo acumulado y los parámetros K y n son coeficientes adimensionales propios de cada tipo de suelo.

En la figura 46 se observa además que la velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 50 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 100 minutos de iniciada la prueba, lo cual constituye un resultado lógico si se considera la experiencia de otros autores en estas pruebas de infiltración.

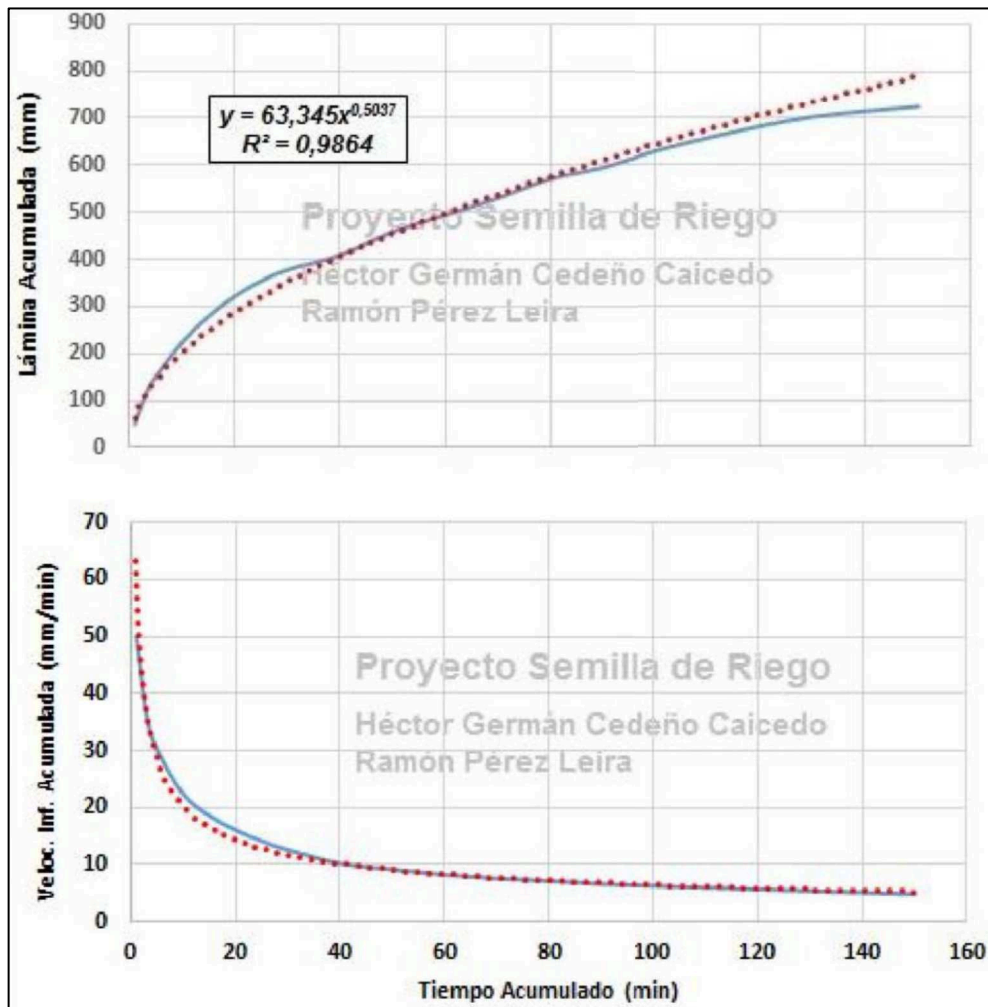


Figura 3.13. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-1.

En la figura 47 se aprecia el comportamiento de la lámina acumulada en función del tiempo para el punto F-2. Esta prueba tuvo una duración de 130 minutos durante los cuales se acumuló una lámina superior a los 400 mm.

Se ratifica la curva de mejor ajuste la ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.97.

Se observa además que la velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 90 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 80 minutos de iniciada la prueba, similar al comportamiento de punto F-1.

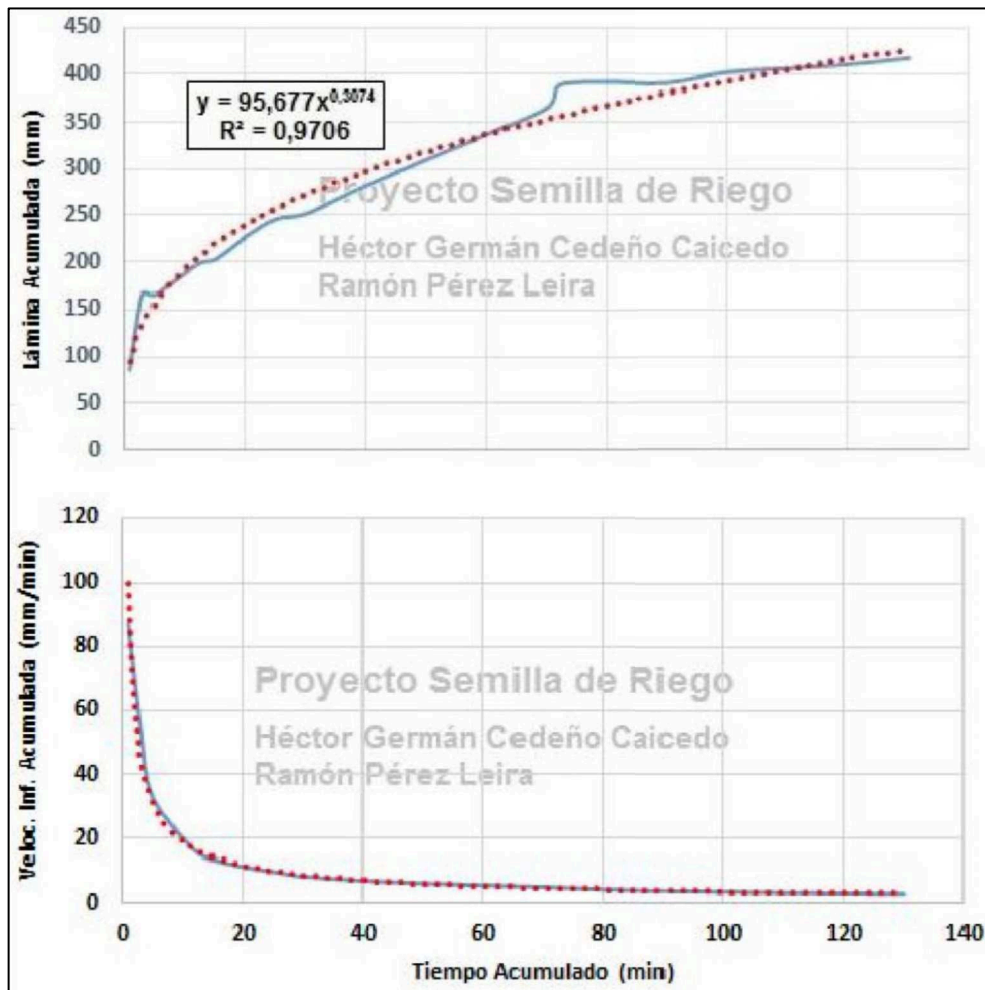


Figura 3.14. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-2.

El comportamiento de la lámina acumulada en función del tiempo para el punto F-3 (figura 48) indica resultados muy similares al del punto F-2. Esta prueba tuvo una duración de 100 minutos durante los cuales se acumuló una lámina superior a los 500 mm.

La ecuación de mejor ajuste de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ tuvo un valor de R^2 superior a 0.96.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 65 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 80 minutos de iniciada la prueba, similar al comportamiento de punto F-2.

Como conclusión parcial de estas pruebas de infiltración en suelos de textura fina se puede destacar que el comportamiento de la lámina infiltrada acumulada en el suelo se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.96 en todos los casos. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 50 y 90 mm/h y la estabilización de este parámetro se alcanzó entre los 80 y 100 minutos de haberse iniciado la prueba.

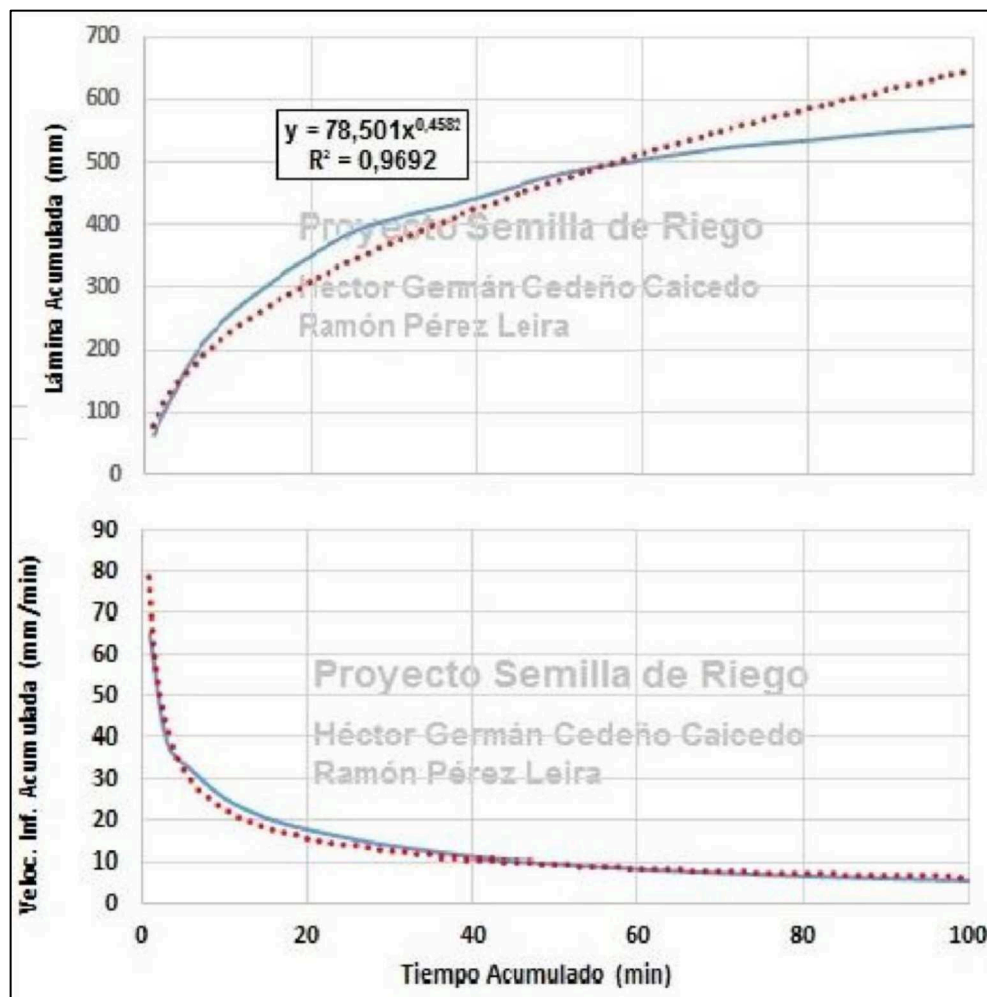


Figura3.15. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto F-3.

En la figura 49 se aprecia el comportamiento de la lámina acumulada en función del tiempo para el punto M-1. La prueba tuvo una duración de 115 minutos durante los cuales se acumuló una lámina muy próxima a los 500 mm.

La curva de mejor ajuste resultó ser también una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.98.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 60 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 90 minutos de iniciada la prueba, lo cual coincide con los resultados obtenidos en los suelos de textura fina.

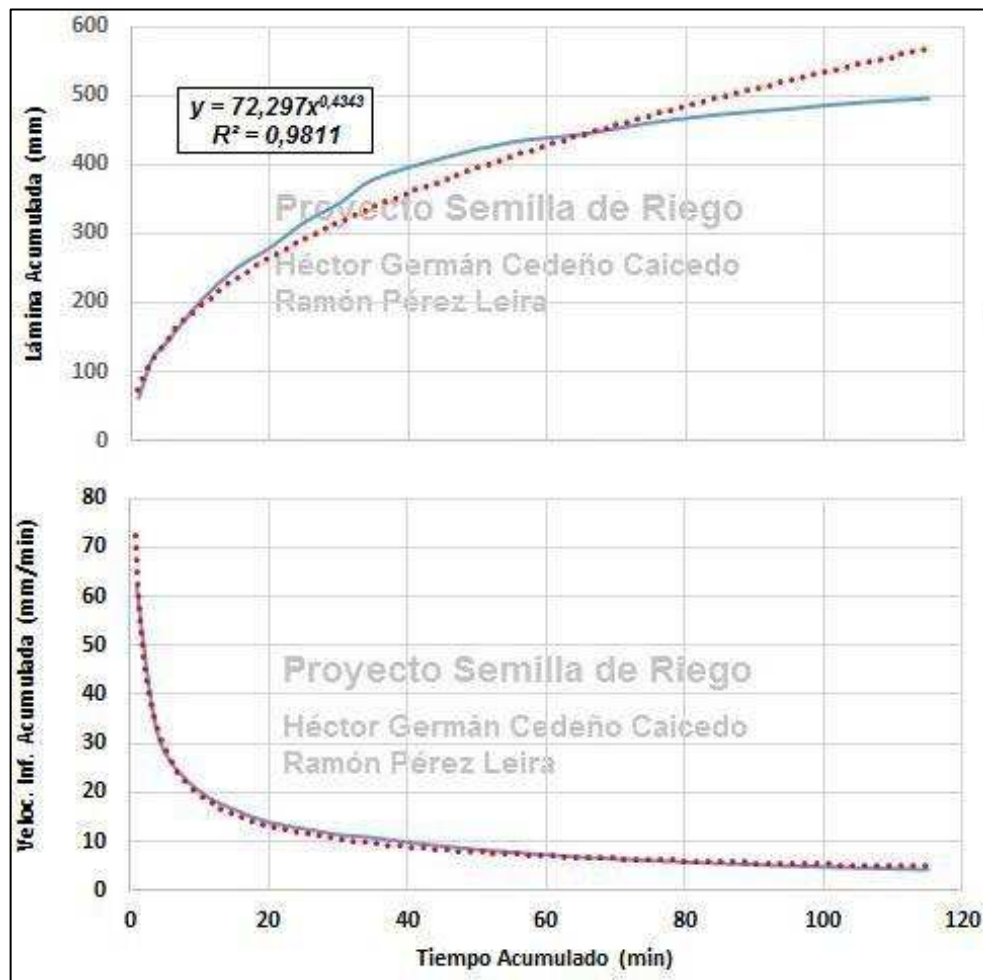


Figura 3.16. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-1.

En la figura 50 se obtiene un comportamiento de la lámina acumulada en función del tiempo para el punto M-2 diferente a los anteriores.

La prueba tuvo una duración de 100 minutos durante los cuales se acumuló una lámina que apenas supera los 100 mm.

La curva de mejor ajuste resultó ser también una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.94.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 15 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 80 minutos de iniciada la prueba, lo cual coincide con los resultados obtenidos en los suelos de textura fina.

En este punto se evidencia un cambio notable en los parámetros de infiltración de suelo que está muy relacionado con el tipo de arcilla y con la existencia de un estrato inferior a los 20 cm de profundidad con muy baja permeabilidad como ya se comentó en la figura 45.

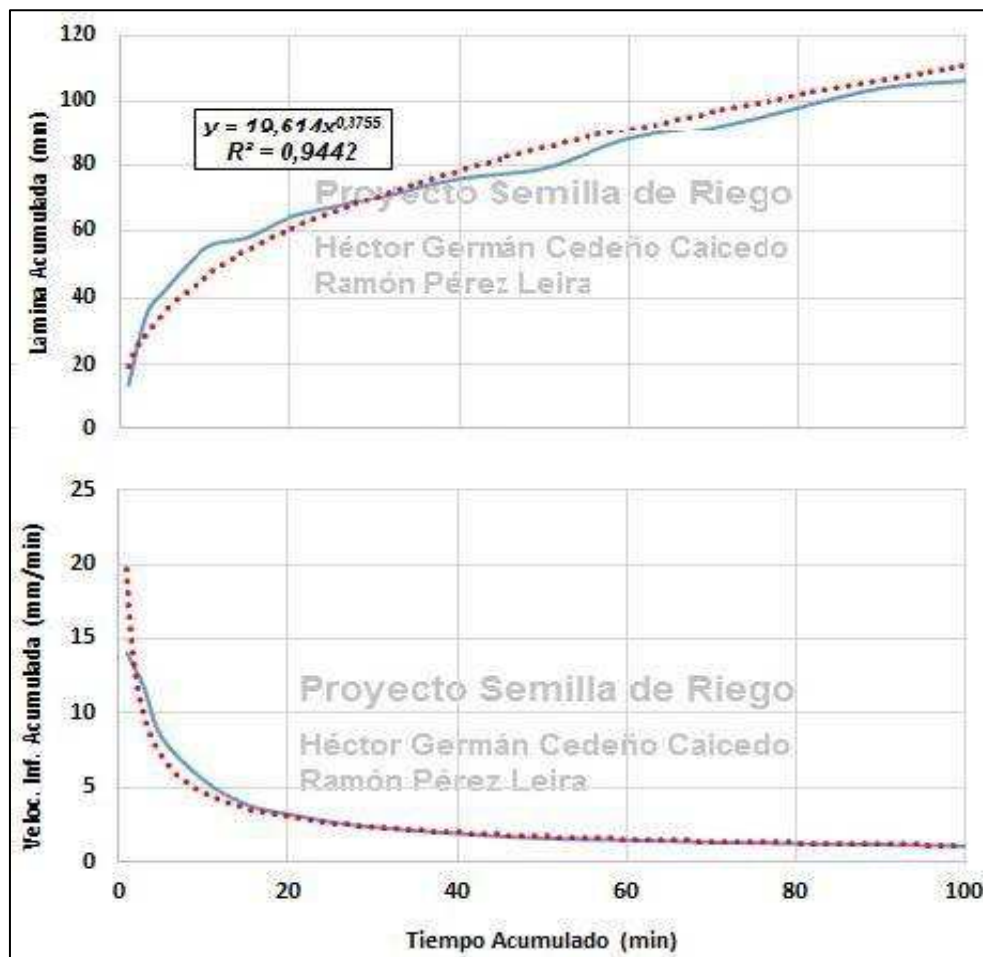


Figura 3.17. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-2.

Un resultado similar al anterior se observa en la figura 51 para el punto M-3. La lámina acumulada en función del tiempo para este punto apenas supera los 60 mm durante los 100 minutos que duró la prueba.

La ecuación de mejor ajuste resultó ser también una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.85.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 20 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 70 minutos de iniciada la prueba, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el punto M-2.

En este punto se evidencia un cambio notable en los parámetros de infiltración de suelo que está muy relacionado con el tipo de arcilla y con la existencia de un estrato inferior a los 20 cm de profundidad con muy baja permeabilidad como ya se comentó en la figura 45.

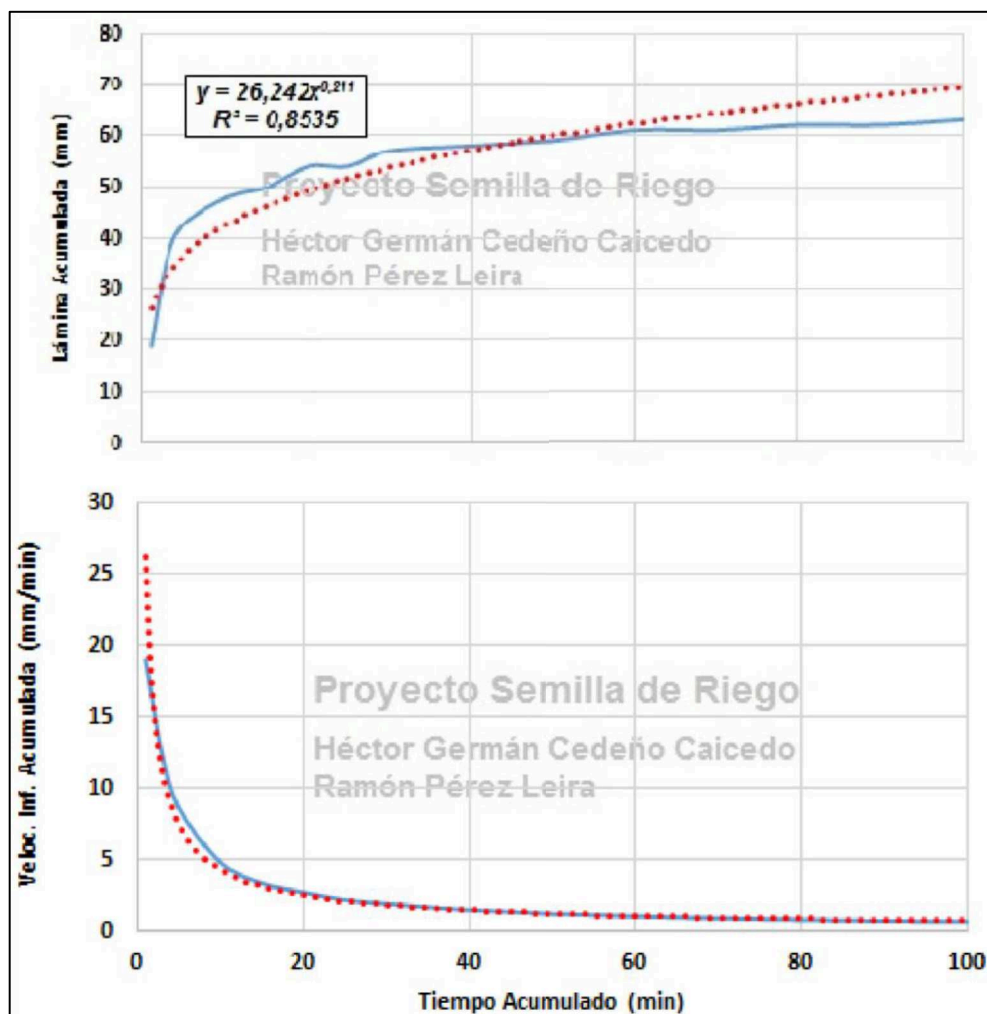


Figura 3.18. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-3.

En la figura 52 la lámina acumulada en función del tiempo para el punto M-4 vuelve a tener valores altos. La prueba tuvo una duración de 100 minutos durante los cuales se acumuló una lámina muy próxima a 700 mm.

La curva de mejor ajuste resultó ser también una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.99.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores superiores a 60 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 80 minutos de iniciada la prueba, lo cual coincide con los resultados obtenidos en los suelos de textura fina.

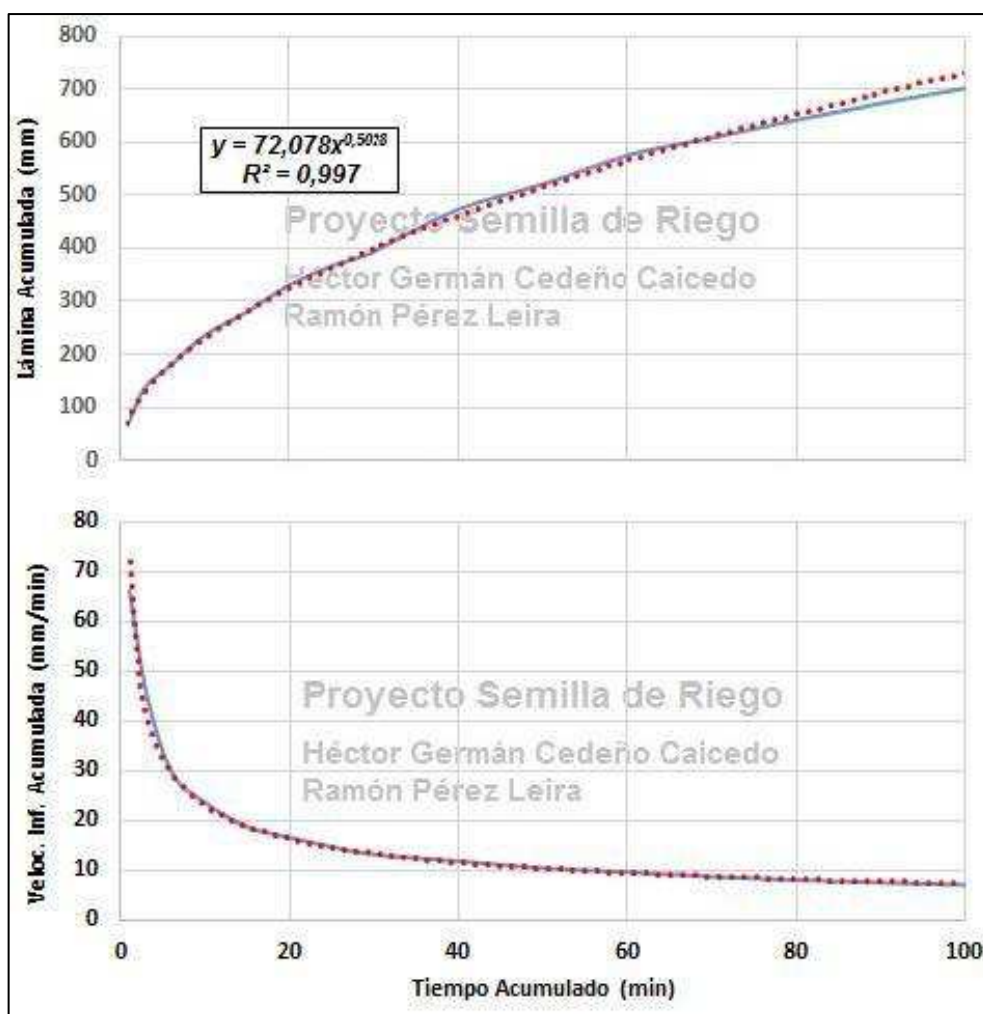


Figura 3.19. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-4.

Un resultado similar al anterior se observa en la figura 52 para el punto M-5. La lámina acumulada en función del tiempo para este punto apenas supera los 1000 mm durante los 100 minutos que duró la prueba. Este valor resultó ser el más alto de los obtenidos en todas las pruebas

La ecuación de mejor ajuste resultó ser también una ecuación de tipo potencial $Y = K \cdot X^n$ con un valor de R^2 superior a 0.99.

La velocidad de Infiltración acumulada comienza con valores cercanos a 100 mm/h y llega a estabilizarse a partir de los 80 minutos de iniciada la prueba.

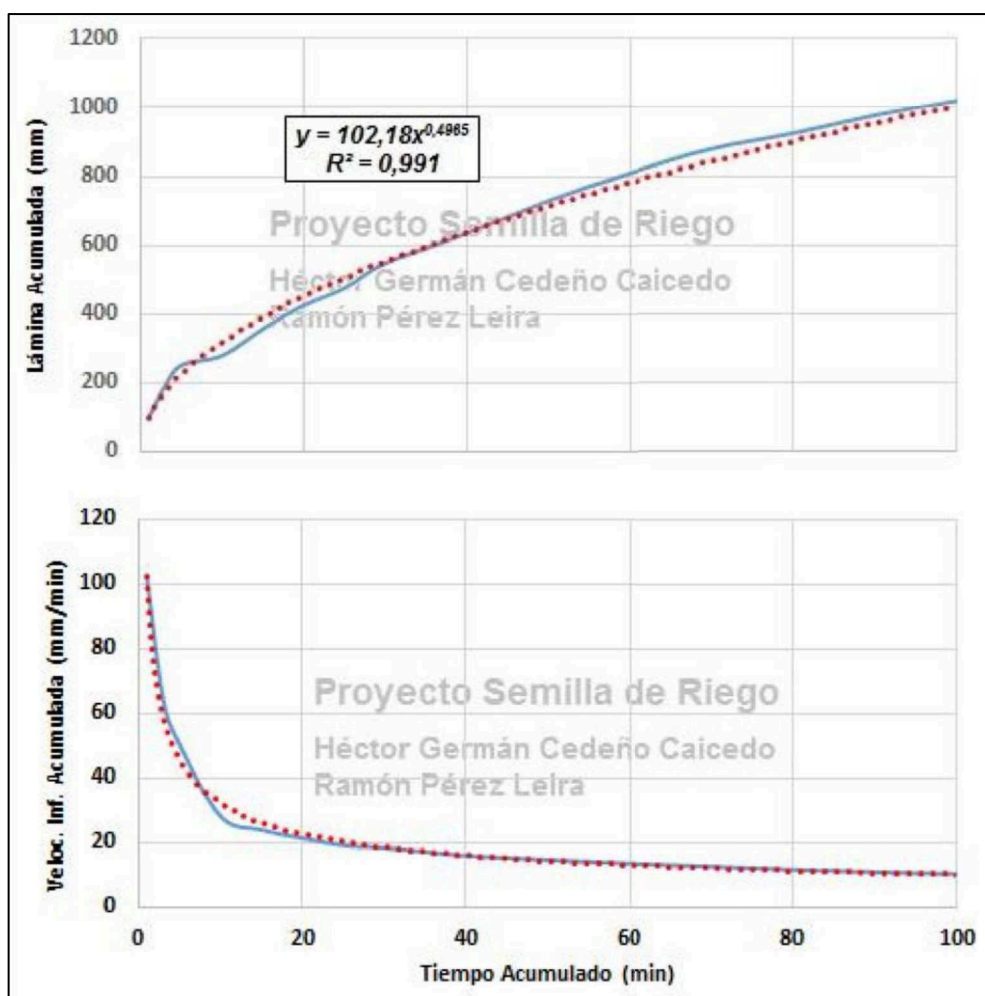


Figura 3.20. Comportamiento de la lámina infiltrada acumulada y la Velocidad de Infiltración en el punto M-5.

Como conclusión parcial de estas pruebas realizadas en los suelos de textura media se puede expresar que el comportamiento en todos los puntos no fue el mismo.

Se identifican suelos con parámetros de infiltración que pueden ser ubicados en dos grupos:

Uno con velocidades de infiltración muy similares a las de los suelos con textura fina (puntos M-1, M-4 y M-5) y otro grupo con velocidades de infiltración inferiores (puntos M-2 y M-3).

Este resultado hace suponer dos hipótesis:

- 1- Que el criterio de la clasificación del suelo atendiendo a la textura no es suficiente para establecer asociaciones entre esta propiedad física y la velocidad de infiltración. Sobre todo si se observa que, contrario a lo que sucede de manera habitual, los mayores valores de infiltración del suelo se obtuvieron en los puntos ubicados en zonas identificadas con textura fina y como contraste los menores valores de infiltración se obtuvieron en suelos de textura media.
- 2- Que el grado de precisión que reflejan los mapas de textura de suelo sea bajo, lo cual permite la ocurrencia de errores en los límites de textura que en los mismos se reflejan.

Estas hipótesis serán objeto de recomendaciones al final de este trabajo con vistas a esclarecer estos resultados.

A partir de estos resultados no es posible demostrar que exista una asociación entre el comportamiento de la Velocidad de Infiltración y la textura del suelo, lo que hace considerar la influencia que pueden tener otros factores en este parámetro hidrofísico como son la existencia de estratos subyacentes con menos permeabilidad que los superficiales, así como la compactación y el uso que hayan tenido estos suelos durante un tiempo prolongado y el grado de precisión de los mapas de suelo de los que se disponen.

CONCLUSIONES

- 1- La revisión realizada en este trabajo sobre la experiencia nacional y regional relacionada con las propiedades hidrofísicas de los suelos demuestra que en los últimos años se han generado nuevas técnicas y procedimientos sofisticados para la determinación de estas propiedades a partir de análisis directos o indirectos sobre el suelo. Sin embargo los resultados que se obtienen no difieren de los obtenidos por otros métodos tradicionales. La determinación y el conocimiento de la Capacidad de Campo y de la Velocidad de Infiltración siguen siendo elementos básicos indispensables para una correcta proyección y planificación de los sistemas de riego.
- 2- El estudio realizado sobre el comportamiento de la Capacidad de Campo del suelo en la zona prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone muestra que en los suelos de textura fina se alcanzaron valores promedio en el intervalo de 31 a 40 % pss. En cambio, para los suelos de textura media estos valores estuvieron en el intervalo de 35 a 40 % pss. En ambas texturas se pudo comprobar un comportamiento más estable para los primeros 20 cm de profundidad y una mayor variabilidad de los valores en las profundidades de 30 a 50 cm.
- 3- Los resultados de las pruebas de infiltración en suelos de textura fina muestran un comportamiento de la lámina infiltrada acumulada en el suelo que se ajustó a una ecuación de tipo potencial con coeficientes de R^2 superiores a 0.96 en todos los casos. La velocidad de infiltración del suelo al inicio de las pruebas estuvo entre los 50 y 90 mm/h y la estabilización de este parámetro se alcanzó entre los 80 y 100 minutos de haberse iniciado la prueba.
- 4- Las pruebas realizadas en los suelos de textura media indicaron que el comportamiento en todos los puntos no fue el mismo. Se identificaron suelos con parámetros de infiltración que pueden ser ubicados en dos grupos: Uno con velocidades de infiltración muy similares a las de los

suelos con textura fina (puntos M-1, M-4 y M-5) y otro grupo con velocidades de infiltración inferiores (puntos M-2 y M-3).

- 5- Si se pretende hacer una asociación entre el comportamiento de la Capacidad de Campo con su ubicación espacial atendiendo a la textura del suelo se puede concluir que existe una correspondencia entre los valores más altos de esta propiedad con su ubicación en zonas declaradas con textura media. De igual manera los menores valores de Capacidad de Campo estuvieron localizados en suelos declarados con textura fina.
- 6- No se demuestra que exista una asociación entre el comportamiento de la Velocidad de Infiltración y la textura del suelo, lo que hace considerar la influencia que pueden tener en este parámetro hidrofísico otros factores como son: la existencia de estratos subyacentes con menos permeabilidad que los superficiales, el grado de compactación, el uso que hayan tenido estos suelos durante un tiempo prolongado y el grado de precisión de los mapas de suelo de los que se disponen.

RECOMENDACIONES

- 1-** Ampliar la densidad de puntos a analizar en el área de estudio con vistas a poder hacer un análisis geoestadístico de su distribución espacial.
- 2-** Identificar el grado de precisión de los mapas de suelos existentes en la zona y de ser posible conocer la información básica que sirvió de sustento a los mismos.
- 3-** Hasta tanto no se obtengan datos más precisos de las propiedades Hidrofísicas de los suelos en el área prevista a regar con el Proyecto Multipropósito Chone, estos resultados deben ser considerados como un acercamiento a las condiciones reales para futuros proyectos y planificaciones del régimen de riego en la región.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BATJES, N.H. (1996).** Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma*. 71: 31 – 52.
2. **CALDERÓN, L. M. (2015)** Reporte Nacional enviado a la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación. Subsecretaría de Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Ecuador.
3. **CAMPERO, S. G.** Diseño y construcción de un sistema de drenaje superficial, en el predio “Montero”. Tomado de: <http://www.monografias.com/trabajos82/disenosistema-drenaje-superficial/disenosistema-drenaje-superficial2.shtml> (8 de Abril de 2017).
4. **CRESPO, G. Y OTERO, L. (2011).** Efecto de la plantación de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la variación de las propiedades físico-químicas de los suelos en la granja Picadura, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 45, Número 4.
5. **CUSTODIO E. Y LLAMAS. M. R, (1976).** Hidrología subterránea. Segunda edición. Barcelona, Omega. Pág. 309.
6. **DELGADO, F. Y BARRETO, L. (1988).** Una aproximación matemática para la elaboración de curvas de retención de humedad en suelos representativos de los Llanos Occidentales. *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología*. 6(1-2): 45 - 50.
7. **FAO. (2017).** Curvas de Retención de Humedad. Obtenido de [http://www.fao.org/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2Fpfcurvey_01.jpg&md5=ee915926b51a1915056468c26eee4265d603fbd4¶meters\[0\]=YTo0OntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjgwMCI7czo2OiJoZWlnaHQiO3M6NDoiNjAw¶meters\[1\]=bSI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjQxOiI](http://www.fao.org/index.php?eID=tx_cms_showpic&file=uploads%2Fpics%2Fpfcurvey_01.jpg&md5=ee915926b51a1915056468c26eee4265d603fbd4¶meters[0]=YTo0OntzOjU6IndpZHRoIjtzOjM6IjgwMCI7czo2OiJoZWlnaHQiO3M6NDoiNjAw¶meters[1]=bSI7czo3OiJib2R5VGFnIjtzOjQxOiI) (6 de Abril de 2015).
8. **FONTANET, A. M. (2014).** Métodos avanzados para determinar la Capacidad de Campo del Suelo. LABFERRER. Tomado de: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/mtodos-avanzados-para-determinar-lacapacidad-de-campo-del-suelo> (10 de Abril de 2017).

9. **GUARÍN, G. W. Y POVEDA, G. (2013).** *Variabilidad Espacial y Temporal del Almacenamiento de Agua en el Suelo en Colombia.* Rev. Acad. Colomb. Cienc.: volumen xxxvii, número 142 – marzo.
10. **GUIARRA B.G.; MORILLO, L. Y ROSERO, M. (2017).** *Determinación de la Capacidad de Campo en los suelos de textura Franco Arcillo Arenosa en la Ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura. Ecuador.* Disponible en: https://www.academia.edu/16922733/Determinaci%C3%B3n_de_la_capacidad_de_campo_en_suelos_de_textura_franco_arcilla_arenosa_en_la_provincia_de_Imbabura_Ecuador (6 de Abril de 2017).
11. **IBÁÑEZ, J. J. (2017).** *EL AGUA DEL SUELO 3: Agua de Infiltración, Agua Gravitacional y Agua Retenida.* Obtenido de <http://es.calameo.com/read/0033702799fbb9e1c3263> (6 de Abril de 2017).
12. **IEE (INSTITUTO ESPACIAL ECUATORIANO) Y MAGAP (MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA) (2013).** *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional escala 1: 25 000.* Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/CHONE/IEE/EMORIAS_TECNICAS/mt_chone_sistemas_productivos.pdf (21/04/2017).
13. **IGM. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. (2012).** *Serie Cartográfica Provincial. Provincia de Manabí.* Disponible en: www.geoportaligm.gob.ec (10/12/2014).
14. **INEC. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. (2010).** *Resultados del Censo de Población y Vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Manabí.* Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wpcontent/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf> (21/04/2017).
15. **INEC. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. (2014).** *Resultados del Censo de Población y Vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Manabí.* Disponible en: <http://anda.inec.gob.ec/anda/index.php/estadsticas-econmicas> (15/11/2014).

16. **ISRAELSEN, O.W. Y WEST, F.L. (1922).** "Water holding capacity of irrigated soils". *Utah State Agricultural Experiment Station Bull* 183: 1–24.
17. **KOSTIAKOV, A.N. (1932).** *On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from a dynamic view for the purpose of amelioration.* *Trans. 6th Congr. Int. Soc. Sci. (Russian part A)*, pp. 17-21.
18. **LABFERRER (2017).** *Suelo-Agua-Planta-Ambiente. Sensores e Instrumentación para Biofísica Ambiental y Suelos. Tomado de:* <http://www.labferrer.com/sensores.html> (11/04/2017).
19. **LANDINI, A. M.; MARTÍNEZ D.; DÍAS H.; SOZA E.; AGNES D. Y SAINATO C. (2007).** *Modelos de Infiltración y Funciones de Pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura.* *Ciencias del Suelo (Argentina)*: 25(2): 123-131.
20. **LANDON, J.R. (1984).** *Tropical Soil Manual. Brooker Agricultura. International Limited.* 450 pp. Londres.
21. **LEYVA, S.L. (2013).** *Valoración de Indicadores de Calidad en el Manejo de Suelos Silvo-Pastoriles en Cuba. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Disponible en:* http://oa.upm.es/21915/1/SANTA_LAURA_LEYVA_RODRIGUEZ.pdf (12/04/2017).
22. **LÓPEZ-SANTOS, A.; GONZÁLEZ-CERVANTES, G.; CADENA-ZAPATA, M Y GONZÁLEZ-BARRIOS, J. L. (2012).** *Efecto de la labranza primaria en la calidad física del suelo, evaluada mediante permeámetro de disco.* *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. III, núm. 4, octubre-diciembre. pp. 127-141.
23. **MAGAP (2016).** v2 - *Mapa de Suelos (Variables Pendiente, Taxonomía y Textura) del Ecuador continental, escala 1:250.000, año 2003. Disponible en:* <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/66fb5641-7260-443c-bbaf-96dbc66f8d56> (15/01/2016).
24. **MALAVÉ, N. (1991).** *Estudio preliminar de las relaciones entre características de retención de humedad y distribución de tamaño de partículas, materia orgánica y densidad aparente. Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología.* 92 p.
25. **MALDONADO, I.I. (2001).** *El agua y la Producción de Trigo en la VIII Región. Tierra Adentro.* 40: Septiembre-Octubre. pp. 21-23.

26. **MENDOZA, A. M.R. Y VALDÉZ, R. M.G. (2015).** *Labranza Mecanizada en la productividad del cultivo del maíz H. Trueno. Tesis presentada a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.*
Manuel Félix López. Calceta. Disponible en:
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/36/1/Mendoza%20Alc%C3%ADva%20Magno%20Rafael-Valdez%20Rodr%C3%ADguez%20Mar%C3%ADa%20Gregoria.pdf> (12/04/2017).
27. **MORALES, G.A.E Y VILORIA, R.J.A. (2007)** *Confiabilidad de Modelos para Predecir Retención de agua en suelos de la cuenca alta del Río Guárico, Venezuela.*
Edafología: Vol. 14 (1, 2, 3), pp. 19-24.
28. **MEJÍA, G. D.A.** *Efecto de la Rehabilitación y manejo de suelos endurecidos con el uso de plantas germinadas en la productividad y sobrevivencia de Gypsophila, (Gypsophila paniculata L.) Variedad Over time. Artículo Científico IASA Cayambe,*
Ecuador Sto. Domingo Abril. Tomado de:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8031> (12/04/2017).
29. **PINEDA, C. Y VILORIA, J. (1997):** *Funciones de pedotransferencia para estimar la retención de humedad en suelos de la cuenca del lago de Valencia. Venesuelos. 5(1-2): 39-45.*
30. **PRIETO-MÉNDEZ, J.; PRIETO-GARCÍA, F.; ACEVEDO-SANDOVAL, O.A. Y MÉNDEZ-MARZO, M.A. (2013).** *Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. Agronomía Mesoamericana. 24(1):83-91. ISSN: 1021-7444.*
31. **RAWLS, W., BRAKENSIEK, D. Y SAXTON, K. (1982).** *Estimation of soil water properties. Transactions of the ASAE 25: 1316-1320.*
32. **RAPERI, T. B., HENRY, C.G., ESPINOZA, L., ISMANOV, M. Y OOSTERHUIS, D.M. (2015).** *Response of Two Inexpensive Commercially Produced Soil Moisture*

- Sensors to Changes in Water Content and Soil Texture. Agricultural Sciences: 6, 1148-1163. Tomado de: <http://www.scirp.org/journal/as> y <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.610110>*
33. **REAL, M, BOSCH-SERRA, A. D. Y LIDÓN, A. (2015).** *Efecto de la Caracterización Hidráulica del Suelo sobre la Simulación del Balance de Agua en un cultivo de Cereal en Secano. Congresos de la Universitat Politècnica de València, XXXIII Congreso Nacional de Riegos. Tomado de: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/CNRiegos/CNRiegos33/paper/view/1428>*
34. **REY, J.C. Y WAGNER, M. (2004):** *Estimación de la retención de humedad de los suelos a partir de propiedades seleccionadas. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. 16 p.*
35. **RICHARDS, L.A. Y WEAVER, L.R. (1944).** *"Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension". Journal of Agricultural Research 69: 215– 235.*
36. **SAXTON, K. Y RAWLS. W.J. (2006).** *Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1569-1578.*
37. **SEGARRA, P. (2014).** *Sinergias entre Degradación de la Tierra y Cambio Climático en los Paisajes Agrarios del Ecuador. Quito, Ecuador: Mecanismo de la CNUCLDMinisterio del Ambiente-Ecopar.*
38. **SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (2017).** *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2015-2027. Subsecretaría de Riego y Drenaje. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/el-plan-nacional-de-riego/> (24/04/2017).*
39. **SENPLADES (2013).** *Territorio y Descentralización. Competencia de Riego y Drenaje. Disponible en: <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/Territorio-y-Descentralizaci%C3%B3n-RiegoDrenaje.pdf> (19/10/2015).*
40. **TARJUELO, M. J. M. (2005).** *El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. Universidad de Castilla-La Mancha. 3ra Edición. 581 pp.*

41. **TOMASELLA, J. Y HODNETT, M.G. (1998).** *Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia.* Soil Science. 163(3): 190202.
42. **TOMASELLA, J.; PAPECHEPSKY, Y.; CRESTANA, S. Y RAWLS, W.J. (2003).** *Comparison of Two Techniques to Develop Pedotransfer Functions for Water Retention.* Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 1085-1092.
43. **UNCCD. (2013).** *Glosario de términos referentes a los indicadores de desempeño y de impacto, los flujos financieros y las prácticas óptimas.*
44. **WALKER, W. R. (1989)** *Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems.* *FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 45.* ISBN 92-5-102879-6 Roma.
45. **ZAMBRANO, M. Y. E. (2014).** *Posibilidades de Implementación de un Sistema de indicadores para la Gestión de Sequías en la Demarcación Hidrográfica de ManabíEcuador. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Hidráulica y Medioambiente.*