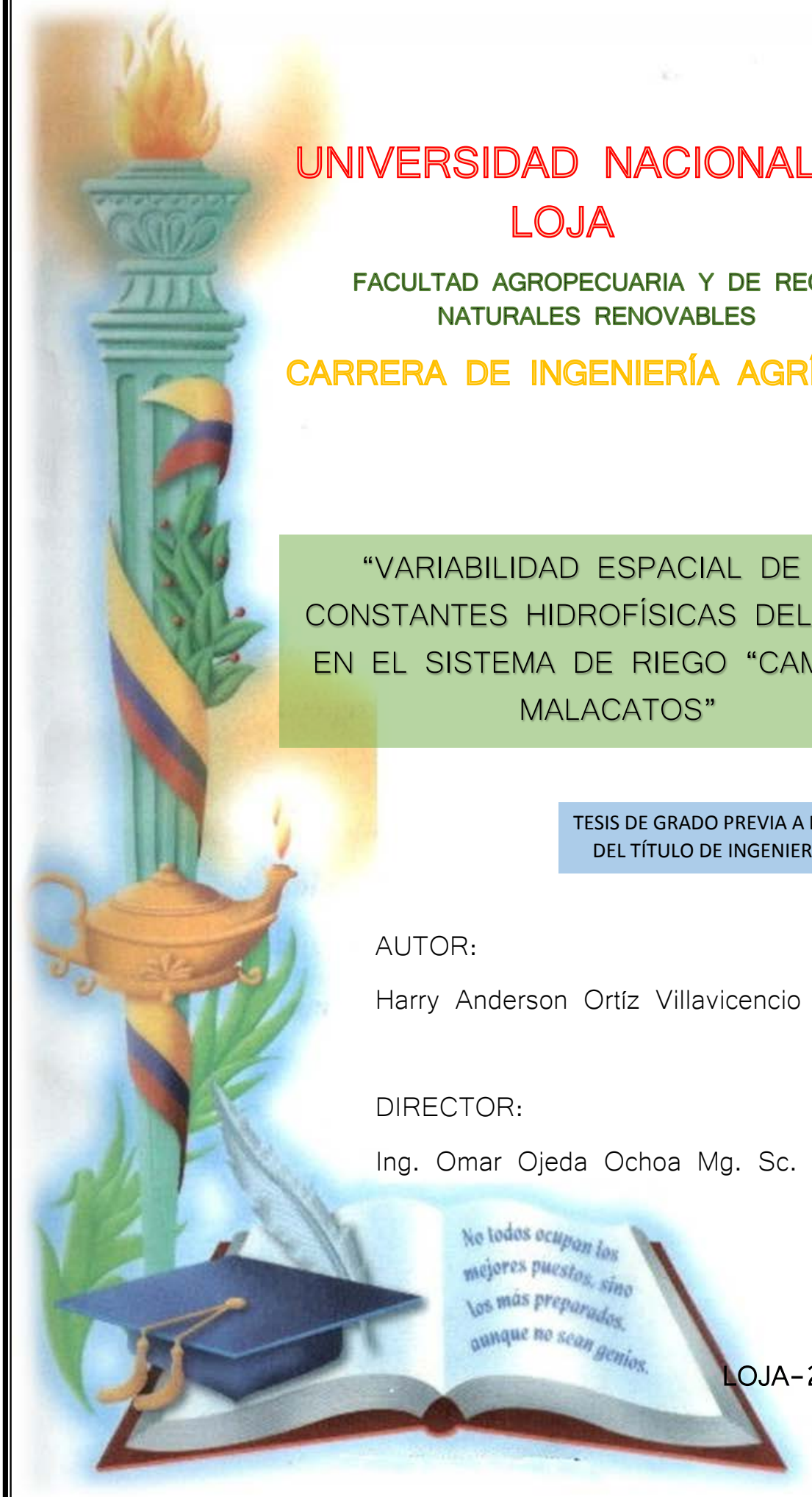


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

"VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO EN EL SISTEMA DE RIEGO "CAMPANA-MALACATOS"

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

AUTOR:

Harry Anderson Ortíz Villavicencio

DIRECTOR:

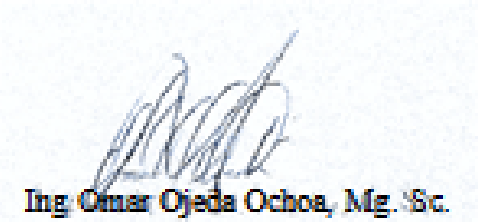
Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.

LOJA-2017

CERTIFICACIÓN

En calidad de director de la tesis titulada **"VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO EN EL SISTEMA DE RIEGO "CAMPANA-MALACATOS"**, de autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, **Harry Anderson Ortiz Villavicencio**, certifico que la investigación ha sido revisada y culminada bajo mi dirección dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, febrero de 2017



Ing. Omar Ojeda Ochoa, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

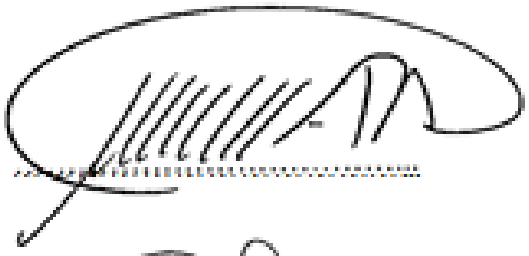
CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada, **"VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO EN EL SISTEMA DE RIEGO "CAMPANA-MALACATOS"**, de autoría del señor egresado de la carrera de Ingeniería Agrícola, **Harry Anderson Ortiz Villavicencio**, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión de la tesis.

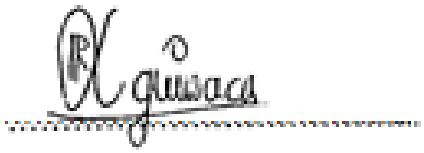
Loja, febrero de 2017

Atentamente.



Ing. Marco Ángel Reinoso Acaro Mg. Sc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ángel Gonzalo Jaramillo González Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Ruth Ximena Aguinsaca Caraguay Mg. Sc.
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo, Harry Anderson Ortíz Villavicencio, declaro ser autor del siguiente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Autor: Harry Anderson Ortíz Villavicencio

Firma: .....

CI: 1105236630

Fecha: Loja, febrero 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Harry Anderson Ortíz Villavicencio, declaro ser el autor de la tesis titulada: **"VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO EN EL SISTEMA DE RIEGO "CAMPANA-MALACATOS"**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el repositorio digital institucional (R.D.I.).

Los usuarios pueden consultar en contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Nacional de Loja.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o la copia que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los días de enero de dos mil diecisiete, firma el autor.

Firma:.....

Autor: Harry Anderson Ortíz Villavicencio

CI: 1105236630

Dirección: Loja, Las Pitas

Correo electrónico: harryortiz3@hotmail.com

Celular: 0987442225

DATOS ADICIONALES

Director de tesis: Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg Sc

Tribunal de grado: Ing. Marco Ángel Reinoso Acaro Mg. Sc.

Ing. Ángel Gonzalo Jaramillo González Mg. Sc.

Ing. Ruth Ximena Aguinsaca Caraguay Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por permite llegar a culminar este camino académico hasta este punto. A todos quienes contribuyeron durante el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación. Agradezco especialmente al Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc. director del presente trabajo de investigación y además por ser un buen amigo y guía durante el proceso.

Gratitud enorme todos los integrantes del proyecto denominado “LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) APLICADOS A LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA, EN EL SISTEMA DE RIEGO CAMPNA-MALACATOS” mismo que fue direccionado por el Ing. Aníbal Eduardo González Mg. Sc., ya que sin este proyecto no habría sido posible el desarrollo del presente trabajo.

DEDICATORIA

Es complicado asignar nombres en este momento, ya que muchas personas han sido parte importante durante este largo camino, pero si a mi pequeña hija, Hayde Ortíz a quien adoro con el alma, a mi madre Tania Ortíz a mis abuelos, que más que eso son mis padres también, Hugo Ortíz y Amada Villavicencio, y en general a todos mis familiares y amigos quienes de una u otra forma han sido parte de todo esto.

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

CERTIFICACIÓN ..... **III**

AUTORÍA ..... **IV**

CARTA DE AUTORIZACIÓN ..... **V**

AGRADECIMIENTO ..... **VI**

DEDICATORIA ..... **VII**

RESUMEN……..……..**xvi**

INDICE GENERAL ..... **VIII**

1. INTRODUCCIÓN **1**

Objetivo principal 3

Objetivos específicos 3

2. REVISIÓN DE LITERATURA **4**

2.1. El suelo 4

2.1.1. Propiedades del suelo 5

2.1.1.1. Propiedades físicas del suelo 5

2.1.1.1.1. Estructura del suelo 6

2.1.1.1.2. Clases y tipos de estructura del suelo 6

2.1.1.1.3. Estructuras granulares y migajosas 7

2.1.1.1.4. Estructuras en bloques o bloques subangulares 7

2.1.1.1.5. Estructuras prismáticas y columnares 8

2.1.1.1.6. Estructura laminar 8

2.1.1.1.7. La profundidad del suelo 8

2.1.1.1.8. Textura del suelo 9

2.1.1.1.9. Densidad del suelo 9

2.1.1.1.9.1. Densidad real 10

2.1.1.1.9.2. Densidad aparente 10

2.2. Relaciones hídricas del suelo 11

2.2.1. Almacenamiento de agua en el suelo 11

2.2.2. Importancia del agua en el suelo y rango de contenido 12

2.2.3. Determinación del porcentaje de humedad del suelo 12
2.3. Curva de retención de humedad del suelo 12
2.3.1. Saturación 14
2.3.2. Coeficiente higroscópico 14
2.3.3. Capacidad de campo y capacidad de aireación (cc) 14
2.3.4. Punto de marchitez permanente 15
2.4. Movimiento del agua en los suelos 15
2.4.1. Movimiento del agua en el interior de los suelos 15
2.4.2. Movimiento del agua en suelos saturados 15
2.4.3. Movimiento del agua en suelos no saturados 16
2.4.4. Balance hídrico 16
2.5. Sistema de información geográfico 17
2.5.1. Elementos de un sistema de información geográfica (SIG) 17
2.5.1.1. Hardware 17
2.5.1.2. Software 18
2.5.1.3. Dato 18
2.5.1.4. Técnicos 18
2.5.1.5. Métodos 18
2.5.2. Aplicaciones de un sistema de información geográfica (SIG) 19

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA 20

3.1. Localización del estudio 20
3.1.1. Ubicación geográfica 21
3.1.2. Ubicación política 21
3.1.3. Límites del sistema 21
3.2. Materiales 22
3.2.1. Materiales de Campo 22
3.2.2. Materiales, equipos y reactivos de laboratorio 22
3.2.2.1. Materiales para determinar el valor del contenido de humedad a Capacidad de Campo 22
3.2.2.2. Materiales para determinar el valor del contenido de humedad a Marchitez Permanente 22
3.2.2.3. Material para determinar la clase textural 23
3.2.3. Materiales de Oficina 23

3.3. Metodología 24
3.3.1. Toma de muestras 24
3.3.1.1. Tamaño de la muestra 24
3.3.1.2. Técnica de muestreo 25
3.3.1.2.1. Toma de muestra para determinación del contenido de humedad capacidad de campo y densidad aparente 25
3.3.1.2.2. Toma de muestra para determinación del contenido de humedad punto de marchitez permanente 26
3.3.1.2.3. Toma de muestra para determinación de la clase textural 26
3.4. Metodología para el objetivo “Establecer y estructurar una base de datos georreferenciada de las constantes hidrofísicas del sistema de riego “Campana-Malacatos” 26
3.4.1. Determinación del contenido de humedad capacidad de campo, base peso .27
3.4.2. Determinación del contenido de humedad punto de marchitez permanente, base peso 28
3.4.3. Determinación de la densidad aparente 28
3.4.4. Determinación de la textura 29
3.5. Metodología para el objetivo “determinar las constantes hidrofísicas del suelo para el sistema de riego “Campana-Malacatos” para su posterior uso en el riego tecnificado” 31
3.6. Metodología para el objetivo “realizar la evaluación de las condiciones físicas del suelo del sistema de riego “Campana-Malacatos”. 32
4. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34**
4.1. Base de datos georreferenciada de las constantes hidrofísicas del sistema de riego “Campana-Malacatos” 34
4.2. Constantes hidrofísicas del suelo en el sistema de riego “Campana-Malacatos”. 35
4.2.1. Contenido de Humedad a Capacidad de Campo en base peso. 35
4.2.2. Contenido de Humedad a Punto de Marchitez Permanente en base peso. 37
4.2.3. Densidad aparente 39
4.2.4. Textura del suelo 42
4.3. Condiciones físicas del suelo en el sistema de riego “Campana-Malacatos” 44
4.3.1.Base de datos del contenido de Humedad a Capacidad de Campo a 1/10 de atmosfera. 44

4.3.2. Agua Aprovechable 47

5. CONCLUSIONES 49

6. RECOMENDACIONES 50

7. BIBLIOGRAFÍA 51

8. ANEXOS 53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de pF, su equivalente en atmósferas y sus puntos más importantes. (Valarezo et al, 1998). 13
Tabla 2. Tabla de Conversión y Corrección deducida de la ecuación de Fisher-Oden. 30
Tabla 3. Base de datos de las constantes hidrofísicas en el sistema de riego "Campana Malacatos",.....34
Tabla 4. Contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo en % base peso. 35
Tabla 5. Contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente en % base peso.....37
Tabla 6. Densidad aparente.....39
Tabla 7. Relación, contenido de arcilla, Densidad Aparente.....40
Tabla 8. Tipo de Textura y porcentaje de área cubiertos.....42
Tabla 9. Base de datos, contenido de humedad a Capacidad de Campo a 1/10 de atm 44
Tabla 10. Tabla de las Condiciones Físicas del Suelo, y áreas cubiertas 44
Tabla 11. Contenido de agua aprovechable base peso, y porcentaje de área cubierto 47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agregado 6
Figura 2. Estructura Buena 6
Figura 3. Estructura Granular 7
Figura 4. Estructura en Bloques 7
Figura 5. Estructura Prismática 8
Figura 6. Estructura Laminar 8
Figura 7 Triangulo Textural 9
Figura 8. Curva de retención de agua del suelo. Fuente: Valarezo et al., 1998 13
Figura 9. Ubicación del Sistema de Riego Campana Malacatos 21
Figura 10. Mapa de los puntos de muestreo 25
Figura 11. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (ILACO, B. V. 1981) 32
Figura 12. Mapa de Contenido de Humedad a Capacidad de Campo 36
Figura 13. Mapa de Contenido de Humedad a Punto de Marchitez Permanente 38
Figura 14. Mapa de Densidad Aparente 41
Figura 15. Mapa de Textura del suelo 43
Figura 16. Mapa de las condiciones físicas en el sistema de riego Campana Malacatos 46

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Base de datos completa.....53
Anexo 2 Base de datos del Contenido de Humedad en base peso a 1/10 de atm.....55
Anexo 3 Fotografías del Sistema de Riego y actividades en campo.....56

“VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS CONSTANTES HIDROFÍSICAS DEL SUELO EN EL SISTEMA DE RIEGO “CAMPANA-MALACATOS”

RESUMEN

Este trabajo resulta de la investigación de las constantes hidrofísicas del suelo en el sistema de riego “CAMPANA-MALACATOS”, ubicados en la cuenca del río que lleva el mismo nombre, ubicado a 30 km de la cabecera cantonal Loja, este sector es de gran importancia para la zona debido a la producción de alimentos de primera necesidad que abastecen al mismo lugar y las ciudades cercanas.

Estos suelos presentan diversas texturas como son: arcillosos, arenosos, limosos, etc. Lo que da una gran variedad que permite realizar varios ensayos con los mismos.

La muestra se obtuvo primeramente ubicándolas en un mapa del sector y después llegando a los sitios indicados, para posteriormente ubicarlos mediante GPS, se tomó las muestras con los equipos de muestreo para muestras alteradas e inalteradas, luego se transportó las muestras hacia el laboratorio donde se realizó los análisis.

La metodología aplicada para determinar los valores de las constantes hidrofísicas, específicamente, capacidad de campo y marchitez permanente, fue el denominado “Membrana de Richards”, el cual consiste en someter a las muestras no alteras a diferentes presiones para determinar mediante cálculos los valores de las mismas, estos valores fueron expresados posteriormente en mapas, resultado final de esta investigación.

Cabe resaltar que para completar la investigación se integró la búsqueda de los valores de densidad aparente y textura, de los cuales también se elaboró el mapa de la zona.

Esta investigación proyectó los siguientes resultados.

Respecto a Capacidad de Campo, el 44,82% del territorio es decir 335,28 ha, tienen un contenido de humedad a capacidad de campo base peso que va del 20 al 30%, siendo este el valor más representativo encontrado hablando de superficie, mientras que el valor menos significativo encontrado fue de 0,53%, que representan 4 ha, donde el valor del contenido de humedad a capacidad de campo supera el 50%.

Hablando del Punto de Marchitez Permanente el 26,55% del territorio es decir 198,59 ha, tienen un contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente base peso que va del 10 al 15%, siendo este el valor más representativo encontrado hablando de superficie, mientras que el valor menos significativo encontrado fue de 9,31%, que representan 69,61 ha, donde el valor del contenido de humedad a capacidad de campo va del 25 al 30%.

En relación al Agua Aprovechable el 45,29% del territorio es decir 338,8 ha, tienen un contenido de Agua Aprovechable base peso que va del 0 al 10%, siendo este el valor más representativo encontrado hablando de superficie, mientras que el valor menos significativo encontrado fue de 1,54%, que representan 11,5 ha, donde el valor del contenido de Agua Aprovechable supera el 20%.

PALABRAS CLAVES: Capacidad de Campo, Marchitez Permanente, Densidad Aparente, Textura, Membrana de Richards.

ABSTRACT

This work is the constant soil hydrophysical investigation into the irrigation system "CAMPANA-MALACATOS", located in the basin of the river that bears the same name, located 30 km from the cantonal header Loja, this sector is of great importance for the area due to the production of staple foods that cater to the same place and nearby cities.

These soils have different textures as are: clay, Sandy, muddy, etc. What gives a variety that allows several trials with them.

It shows is obtained first placing them in a map of the sector and after arriving to them sites indicated, for subsequently locate them through GPS, is took them samples with them teams of sampling for samples altered e unchanged, then is transported them samples to the laboratory where is performed them analysis.

The methodology applied to determine them values of them constant hydrophysical, specifically, capacity of field and wilt permanent, was the called "membrane of Richards", which consists in submit to them samples not alter to different pressures to determine through calculations them values of them same, these values were expressed later in maps, result end of this research.

It should be noted that to complete the investigation joined the search for the values of bulk density and texture, which also developed the map of the area.

This research project the following results.

With respect to field capacity, 44,82% of the territory is 335,28 has, they have to field based capacity moisture content weight ranging from 20 to 30%, this being the most representative value found talking about surface, while the least significant value found was 0.53%, representing 4 ha, where the value of the to field capacity moisture content exceeds 50%.

Speaking of the permanent wilting point 26.55% of the territory is 198,59 ha, have a moisture content of about to permanent wilting base weight ranging from 10 to 15%, this being the most representative value found talking about surface, while the least significant value found was 9.31%, representing 69,61 ha, where the value of the to field capacity moisture content is 25-30%.

In relation to the water usable the 45,29% of the territory is 338,8 has, have a content of water usable base weight that goes from the 0 to the 10%, being this the value more representative found speaking of surface, while the value less significant found was of 1.54%, that represent 11.5 has, where the value of the content of water usable exceeds the 20%.

WORDS KEY: capacity of field, wilt permanent, density apparent, texture, membrane of Richards.

1. Introducción

Con el crecimiento mundial de la población, es evidente el aumento de la demanda de alimentos, obligando al sector productivo primario, y directamente al agro a incrementar sus niveles de producción; esto provoca una búsqueda de nuevas áreas de cultivo y a su vez una mayor demanda del recurso hídrico.

El conocimiento de las propiedades hidrofísicas de los suelos agrícolas, permite implementar métodos de riego más eficientes, tales como aspersión, micro-aspersión y goteo, ya que estos dan la posibilidad de proporcionar una lámina de agua adecuada a los cultivos, y con esto aumentar el rendimiento y la productividad.

A su vez conocer las propiedades hidrofísicas de los suelos posibilita el manejo ordenado de los sistemas de riego, ya que permite conocer parámetros imprescindibles en el riego tecnificado, tales como establecer la frecuencia de riego, tiempo de riego, lamina de riego entre otros, que a su vez consiente una asignación de turnos eficiente para todos los usuarios de un sistema de riego, evitando así problemas como desperdicio de agua, conflictos entre usuarios, el robo del agua y la falta del recurso hídrico para algunos usuarios.

En la Provincia de Loja, el riego no ha constituido un desarrollo técnico significativo, como consecuencia de factores que limitan el desarrollo agrario y rural, entre los que cuentan: débil apoyo técnico por parte de las instituciones seccionales, usuarios con capacidades deficientes en el manejo adecuado del agua y el suelo, escasa información sobre la oferta y la demanda de productos agrícolas, uso de prácticas agrícolas tradicionales, inexistencia de información sobre las características hidrofísicas de los suelos del sistema; entre los más importantes.

El valle de Malacatos es caracterizado por su producción agrícola a nivel local, por ende, es de gran utilidad el presente estudio para el beneficio de las familias productoras del sector y de esta manera abastecer los mercados locales con productos agrícolas.

El sistema de riego Campana-Malacatos es una obra de infraestructura hidráulica iniciada en el año de 1978 por el ex INERHI, y puesta en funcionamiento en 1993, con el objetivo primordial de incrementar la producción agropecuaria y beneficiar al productor rural, para dotar de agua a los cultivos en el período seco. Éste sistema de riego tiene su captación a 1900 msnm en el río Campana, con un caudal de 500 lt/s para irrigar 674 ha.

Esta obra, en sus 23 años de funcionamiento no ha logrado incrementar la producción agrícola, debido a que se viene manejando el recurso hídrico de una manera tradicional, el mismo que se agudiza con el riego por gravedad, que por el exceso de agua aplicada, la pendiente y la calidad de los suelos (presencia de carbonatos) ha causado algunos deslizamientos de suelos, muchos de ellos de gran magnitud que han originado la destrucción de infraestructura vial, áreas de recreación y áreas de cultivo.

El sistema de riego "Campana-Malacatos", por sus privilegiados pisos altitudinales, tiene una gran gama de posibilidades en lo que a cultivos respecta, sin embargo, el gran problema es la falta del recurso hídrico, con este proyecto se busca lograr mejorar la eficiencia de riego, posibilitando de esta manera incrementar el área regable.

El bajo nivel de tecnificación del riego es otro de los principales problemas que afecta a la producción agrícola en la zona, ya que el agua es utilizada por los usuarios para el riego, pero con baja eficiencia por el desperdicio de agua que existe, estableciendo una brecha entre la superficie regada y la potencialmente regable y al que contribuirá en parte a solucionar el presente trabajo.

La tecnificación del riego es la salida a los problemas que se presentan por la falta del elemento vital que es el agua, así como tener mejores rendimientos agrícolas por unidad de agua consumida.

Por lo tanto el presente estudio, corresponde a un estudio direccionado con el afán de dar un aporte para calcular la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos en cualquier lugar de la zona, con el uso de las constantes hidrofísicas del suelo, que permitirán contribuir al uso del agua en forma eficiente y sustentable como un recurso natural, además de conocer y explicar una parte de esos vacíos científicos existentes, y en la necesidad de generar información base para estudios de riego en la Región Sur del país, que permitirá tomar decisiones correctas, comprender y garantizar un manejo integral del funcionamiento del agua y suelo; Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo principal

- Analizar espacialmente las características hidrofísicas de los suelos del sistema de riego “Campana-Malacatos” para determinar la lámina de riego óptima, mediante el uso de las herramientas de la Geomática (ArcGis).

Objetivos específicos

- Establecer y estructurar una base de datos georreferenciada de las constantes hidrofísicas del sistema de riego “Campana-Malacatos”.
- Determinar las constantes hidrofísicas del suelo para el sistema de riego “Campana-Malacatos” para su posterior uso en el riego tecnificado.
- Realizar la evaluación de las condiciones físicas del suelo del sistema de riego “Campana-Malacatos”

2. Revisión de Literatura

2.1. El suelo

El suelo es un compuesto integrado por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo; son, descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo (FAO 1996).

- Los minerales provienen de la roca madre, que se deshace lentamente. También pueden ser aportados por el viento y el agua, que los arrastran desde otras zonas erosionadas.
- La materia orgánica es el producto de la descomposición de vegetales y animales muertos. Puede almacenar gran cantidad de agua y es rica en minerales.
- Los microorganismos son de dos tipos, los que despedazan la materia orgánica (insectos y lombrices) y los que la descomponen liberando los nutrientes (hongos, bacterias). Viven dentro del suelo y, además de intervenir para que la materia orgánica sea nuevamente utilizada por las plantas, ayudan a pulverizar las rocas. Lombrices e insectos forman poros que permiten la aireación, el almacenaje del agua y el crecimiento de las raíces.
- Agua y aire ocupan los poros, espacios entre las partículas de suelo que se producen por las irregularidades de su forma y tamaño. La distribución y tamaño de los poros es importante. Una excesiva cantidad de poros pequeños origina suelos compactos, pesados, húmedos y un pobre crecimiento de las raíces. Demasiados poros grandes forman suelos sueltos que se secan rápidamente. Cuando más pequeño es el poro, más difícil es para la planta absorber agua de él.

Los organismos del suelo y las plantas necesitan agua para vivir. Las plantas la utilizan para mantener sus tejidos, transportar nutrientes y realizar la respiración y nutrición. El agua del suelo es absorbida por las raíces y utilizada en el proceso de fotosíntesis.

La disolución de minerales y materia orgánica en el agua facilita que sean captados por las plantas.

Cuando el agua del suelo escasea, se detiene el crecimiento de las plantas, que llegan a marchitarse y morir. Un exceso de agua desplaza el aire del suelo. Este es importante porque aporta oxígeno para la respiración de las raíces. Además, es la fuente del nitrógeno que transforman las bacterias, haciéndolo aprovechable por las plantas (FAO 1996).

En el suelo se multiplican miles de formas de vida, la mayoría invisibles para nuestros ojos. Una hectárea de tierra fértil puede contener más de 300 millones de pequeños invertebrados: insectos, arañas, lombrices y otros animales diminutos. La tierra que cabe en una cuchara puede encerrar un millón de bacterias, además de cientos de miles de células de levaduras y pequeños hongos (FAO 1996).

Todas las sustancias que forman el suelo son importantes por sí mismas, pero lo fundamental es el equilibrio adecuado entre los diferentes constituyentes. La materia orgánica y los microorganismos aportan y liberan los nutrientes y unen las partículas minerales entre sí. De esta manera, crean las condiciones para que las plantas respiren, absorban agua y nutrientes y desarrollen sus raíces. Lombrices, bacterias y hongos también producen humus, que es una forma estable de materia orgánica. El humus retiene agua y nutrientes y ayuda a prevenir la erosión (FAO 1996).

2.1.1. Propiedades del suelo

La calidad del suelo es variable y los suelos responden de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él. Se incluyen los elementos de la calidad del suelo; las propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y dinámicas (FAO 1996).

2.1.1.1. Propiedades físicas del suelo

FAO, destaca las siguientes propiedades físicas del suelo.

- Estructura
- Profundidad
- Textura
- Color
- Consistencia
- Porosidad
- Densidad
- Capacidad de Campo (Hidrofísicas)

- Punto de Marchitez Permanente (Hidrofísicas)

En el presente estudio, se hizo énfasis en la investigación de las propiedades hidrofísicas, Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, además la Densidad aparente y la textura, mismas que son la base para la determinación de las láminas de riego (FAO 1996).

2.1.1.1.1. Estructura del suelo

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

Por definición, grado de estructura es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre ellos. Debido a que estas propiedades varían según el contenido de humedad del suelo, el grado de estructura debe determinarse cuando el suelo no esté exageradamente húmedo o seco (FAO 1996).

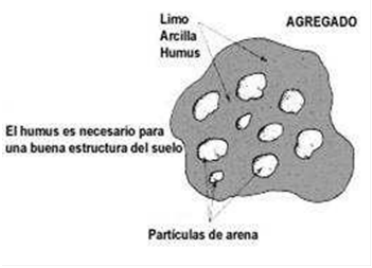


Figura 1. Agregado

Figura 2. Estructura Buena

2.1.1.1.2. Clases y tipos de estructura del suelo

Por definición, la clase de estructura describe el tamaño medio de los agregados individuales. En relación con el tipo de estructura de suelo de donde proceden los agregados, se pueden reconocer, en general, cinco clases distintas que son las siguientes.

- Muy fina o muy delgada.

- Fina o delgada.
- Mediana.
- Gruesa o espesa.
- Muy gruesa o muy espesa.

Por definición, el tipo de estructura describe la forma o configuración de los agregados individuales. Aunque generalmente los técnicos en suelos reconocen siete tipos de estructuras del suelo, sólo usaremos cuatro tipos (FAO 1996).

2.1.1.1.3. Estructuras granulares y migajosas

Partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte A de los perfiles de suelos (FAO 1996).

Figura 3. Estructura Granular

2.1.1.1.4. Estructuras en bloques o bloques subangulares

Partículas de suelo que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares con los bordes más o menos pronunciados. Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla (FAO 1996).

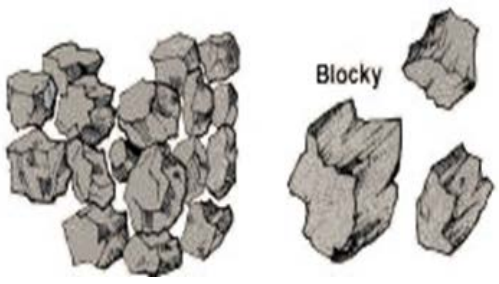


Figura 4. Estructura en Bloques

2.1.1.1.5. Estructuras prismáticas y columnares

Partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Normalmente se encuentran en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla (FAO 1996).

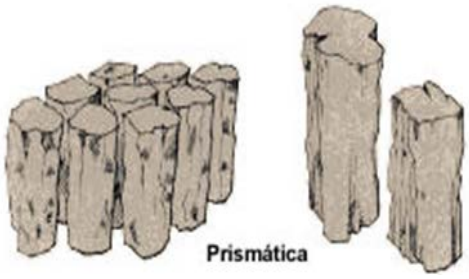


Figura 5. Estructura Prismática

2.1.1.1.6. Estructura laminar

Partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. A menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua. Esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de arcilla (FAO 1996).

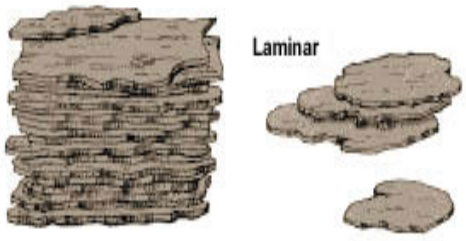


Figura 6. Estructura Laminar

2.1.1.1.7. La profundidad del suelo

La definición original del “solum” se denominaba como la capa superficial del suelo (horizonte A), junto con el subsuelo (B y C). El horizonte C se define como estratos con poca formación edafogénica.

De este modo la profundidad efectiva del suelo fue considerada como la espesura del suelo.

Sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica que frecuenta a menudo en un horizonte C realza la importancia de incluir este horizonte en la definición de profundidad del suelo. En la práctica los estudios con levantamiento de suelos utilizan límites de profundidad arbitrarios con un máximo de 200 cm (FAO 1996).

2.1.1.1.8. Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO 1996).

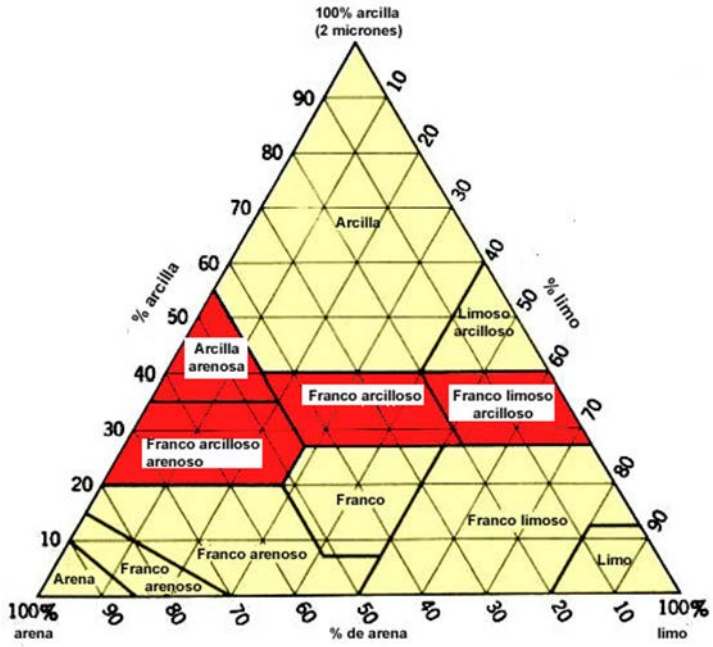


Figura 7 Triangulo Textural

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura. Partículas del suelo que superan tamaño de 2.0mm se definen como piedra y grava y también se incluyen en la clase de textura. Por ejemplo, un suelo arenoso con 20% de grava se clasifica como franco arenoso con presencia de gravas. Cuando predominan componentes orgánicos se forman suelos orgánicos en vez de minerales (FAO 1996).

2.1.1.1.9. Densidad del suelo

La densidad es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen, y está en relación a la

porosidad. Un suelo muy poroso será menos denso; un suelo poco poroso será más denso. A mayor contenido de materia orgánica, más poroso y menos denso será el suelo.

Ahora bien, dado su carácter poroso, conviene distinguir entre la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los huecos, por ello nos referiremos a dos tipos de densidad (FAO 1996).

2.1.1.1.9.1.Densidad real

Es la relación entre la masa total de las partículas sólidas y su volumen, sin tomar en cuenta el espacio poroso existente.

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Dr= Densidad real (gr/cm³)

Ms= Masa de sólidos (gr)

Vs= Volumen de sólidos (cm³)

Se puede tomar un valor estándar de 2,6 y 2,7gr/cm³ para los suelos minerales (Valarezo, y otros 1998)

2.1.1.1.9.2.Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm3 o t/m3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Hakansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expansivas (Taboada & Álvarez, 2008).

$$Da = \frac{Ms}{Vt} = \frac{Ms}{(Vs + Va + Vw)}$$

Donde:

Da= Densidad aparente (gr/cm³)

Ms= Masa de sólidos (gr)

Vt= Volumen total (cm³)

Va= Volumen de aire (cm³)

Vw= Volumen de agua (cm³)

2.2. Relaciones hídricas del suelo

2.2.1. Almacenamiento de agua en el suelo

El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizada por las plantas que a su vez requieren una cantidad adecuada de humedad, la cual varía de acuerdo con la especie y con su estado de crecimiento o desarrollo. De allí que el conocimiento de la humedad por unidad de masa o de volumen de suelo, su estado energético o disponibilidad y su estimación es esencial en la agricultura, la hidrología y la ecología, a escalas regional y local (Stephenson, 1990).

La disponibilidad de agua en el suelo para las plantas depende fundamentalmente de la cantidad de agua almacenada en el suelo y de sus relaciones con el potencial hídrico (Wang 2005).

La matriz del suelo retiene agua por las fuerzas adsortivas de las propiedades del agua como los puentes de hidrógeno y la bipolaridad; estas propiedades producen a las moléculas de agua adhesión y cohesión a la superficie.

El agua en el suelo forma una película de adherencia en la superficie de las partículas del suelo y se llenan los canales existentes entre esas partículas, sin embargo, la capacidad de almacenamiento depende del tipo de suelo. (Taiz & Zeiger 2002, Singer & Munns 1999). Por ejemplo, en suelos arcillosos en que hay mayor cantidad de microporos, el agua es retenida fuertemente, en contraste con los macroporos donde es más difícil de ser retenida y drena después de la lluvia (Lambers et al. 1998).

2.2.2. Importancia del agua en el suelo y rango de contenido

El suelo retiene agua en dos formas, como agua libre en los poros que se encuentran entre las partículas sólidas, y como agua adherida o retenida por absorción sobre las superficies sólidas de las partículas coloidales orgánicas y de arcilla (Prieto et al., 2006). El segundo tipo de agua no es aprovechable para las plantas.

El crecimiento de las plantas es dependiente del contenido de agua del suelo, de igual forma algunas propiedades del suelo están directamente relacionadas con esta variable: consistencia, plasticidad, compactibilidad, adherencia y trabajabilidad, así como, los procesos de hinchamiento y contracción de los suelos arcillosos. Adicionalmente, el contenido de agua es determinante del contenido de aire y del intercambio gaseoso en el suelo, lo cual tiene directa relación con la respiración de las raíces, la actividad de los microorganismos y el potencial de óxido reducción del suelo.

El máximo contenido de agua del suelo corresponde a la condición de saturación, que es aquella en la cual todos los poros están llenos de agua; en tanto que, el mínimo contenido de agua corresponde a la condición variable de suelo seco a la estufa (105 °C x 24 horas) (Valarezo et al., 1998).

2.2.3. Determinación del porcentaje de humedad del suelo

La cantidad de agua existente en el suelo en determinado momento es comúnmente expresada como porcentaje del peso del suelo seco a la estufa (Dorronsoro 2005).

En el laboratorio el método para determinar el contenido de humedad es el gravimétrico, donde la muestra de suelo es pesada inicialmente, secada en estufa a 105°C por 24 horas y pesada otra vez. La fórmula para hallar el contenido de agua es:

$$\%Agua\ en\ el\ Suelo = \frac{Peso\ suelo\ Humedo - Peso\ suelo\ Seco}{Peso\ suelo\ seco}\ x\ 100$$

(Singer & Munns 1999).

2.3. Curva de retención de humedad del suelo

La curva de retención de humedad muestra la relación entre la fracción de volumen de agua y la carga de presión en el suelo, particularidad para cada tipo de suelo y, por lo tanto, se la denomina característica hídrica del suelo. El almacenamiento o retención

del agua, es el resultado de fuerzas de atracción entre la fase sólida y líquida que ocurre en los poros del suelo y depende de la textura del suelo (Valarezo et al., 1998).

Cuando el trabajo necesario para extraer una unidad de agua se expresa en términos de trabajo por volumen de agua, se obtiene unidades de presión, y a este trabajo se lo conoce con el nombre de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo, que es igual al potencial de agua volumétrico, pero con signo contrario.

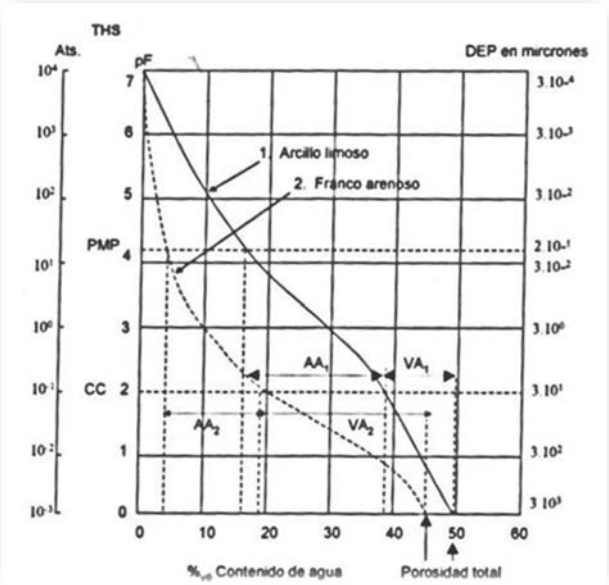


Figura 8. Curva de retención de agua del suelo. Fuente: Valarezo et al., 1998

Debido a que la energía (trabajo) necesaria para extraer el agua del suelo aumenta exponencialmente, mientras que el contenido del agua disminuye linealmente, para facilidad en la graficación e interpretación se prefiere utilizar el logaritmo de la tensión de humedad del suelo, expresado en función de cm de columna de agua, que se conoce como pF (ver Figura 4.7), (p = potencial, F= energía libre), así: 1 atm ≈1 bar ≈ 1000 cm de agua; pF ≈ 3 = 738 mm de mercurio (Valarezo et al., 1998).

Tabla 1. *Valores de pF, su equivalente en atmósferas y sus puntos más importantes. (Valarezo et al, 1998).*

pF	Atm	Puntos
4,4	± 28,8	Agua higroscópica
4,2	15	Punto de marchitez permanente (PMP)
2,52	0,3	Capacidad de campo (CC)
2	0,1	
0	0,001	Saturación

2.3.1. Saturación

El punto de intersección de la curva con el eje de las abscisas corresponde a un valor de tensión de 1 cm (pF = 0), que equivale al contenido de agua del suelo en la condición de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total.

2.3.2. Coeficiente higroscópico

El coeficiente higroscópico es la cantidad de agua que el suelo contiene cuando ha alcanzado el equilibrio bajo las siguientes condiciones: 98 % de humedad relativa, 1 atm estándar de presión, y la temperatura ambiente. Se estima que el valor del potencial mátrico para tales condiciones es de – 2 780 julio/Kg, o 27,8 bar (pF 4,4).

2.3.3. Capacidad de campo y capacidad de aireación (cc)

La CC se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general, se llega a este valor a los dos días de saturar el mismo.

Tradicionalmente ha sido considerado como el límite superior del agua aprovechable para las plantas; sin embargo, por no representar un valor de contenido de agua exacto para una succión dada, se prefiere remplazarlo con otros más precisos.

Así la CC para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene en una sección de 1/3 de atm (333,3 cm de columna de agua, o pF 2, 52). En cambio, para la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm (100 cm de columna de agua, o pF 2).

Los poros de suelo que están ocupados por aire a capacidad de campo, constituyen la porosidad de aireación que es importante para la difusión del oxígeno hacia las raíces. En general, si la porosidad de aireación es mayor a 10 – 15 % es satisfactoria para el crecimiento de las plantas. Desde el punto de vista del drenaje, esta porosidad corresponde al espacio poroso drenable, también llamada porosidad efectiva. En todo caso, representa a los poros del suelo que tienen un diámetro equivalente mayor a 30 micras. (Villón, 2007: Valarezo et al., 1998; Valverde, 1998).

2.3.4. Punto de marchitez permanente

Por el contrario, a la capacidad de campo, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recobran su turgencia. En efecto, el valor del PMP depende de las condiciones climáticas del suelo y de la conductividad hidráulica (Singer & Munns 1999).

el PMP es cercano a los –15 bares (pF 4.2), aunque depende del tipo de planta (Lambers et al. 1998, Taiz & Zeiger 2002, Singer & Munns 1999). Según Tyree et al. (2002).

2.4. Movimiento del agua en los suelos

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema. El agua tiende a moverse de un potencial más negativo a menos negativo, ya que la tensión puede exceder el componente gravitacional y el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando el gradiente de tensión balancea la fuerza de gravedad (Cadena 1997).

2.4.1. Movimiento del agua en el interior de los suelos

El agua que penetra en el suelo proviene de irrigación, lluvia, inundación o filtración de canales de agua. Algunas veces, toda la superficie del suelo esta mojada y, otras, sólo parte de ella está en contacto con el agua. Si toda la superficie esta mojada el movimiento será en una sola dirección: vertical hacia abajo; por el contrario, si el suelo está muy seco, el movimiento lateral puede ser, por cierto, tiempo, tan grande como el movimiento hacia abajo (Cadena 1997).

Cuando el agua se infiltra en el suelo, llena el reservorio de humedad hasta rebasarlo en cada intervalo sucesivo de profundidad, por lo tanto, la cantidad de agua que entra en un suelo dado, en cierto tiempo depende de la cantidad de la misma que ese suelo pueda almacenar y de la velocidad con que el exceso de agua se transmite a través del suelo húmedo, la frente de mojadura en contacto con el suelo seco de abajo (Palmer & Troeh 1989, Cadena 1997).

2.4.2. Movimiento del agua en suelos saturados

El flujo en suelos saturados se da cuando la presión hidrostática es positiva y el potencial mátrico equivale a cero. En estos suelos aproximadamente el 95 % de los poros está lleno de agua y el 5 % está lleno de aire (Soil survey staff 2005). El término

almacenamiento permanece constante y la velocidad del flujo es directamente proporcional a la fuerza impulsora (Cadena 1997).

La primera ley del flujo de la humedad (ley de Darcy) dice que en suelo saturado el agua se mueve en dirección de la disminución de presión hidráulica, con una velocidad proporcional a la diferencia de presión hidráulica entre dos puntos, y la conductividad del suelo al agua, e inversamente a la distancia entre los dos puntos (Cadena 1997).

2.4.3. Movimiento del agua en suelos no saturados

El total del agua que entra en un suelo dado es mayor cuando el suelo está seco que cuando está mojado; sin embargo, la velocidad con que el agua avanza a través del suelo es menor cuando el suelo está seco (Cadena 1997). El agua puede moverse a través del suelo en fase líquida o gaseosa (Taiz & Zeiger 2002, Soil survey staff 2005) En general, la proporción del movimiento del agua en fase gaseosa aumenta a medida que la película del agua se hace más delgada como resultado del secamiento del suelo. Los cambios térmicos y osmóticos participan del mecanismo de conducción del agua, creando gradientes de viscosidad del agua y gradientes de difusividad de vapor de agua (Cadena 1997).

La segunda ley del flujo de humedad se refiere al estado de los suelos no saturados y puede enunciarse de la siguiente forma: “el agua fluirá a través de una interfase aire agua solamente cuando la presión hidráulica sea suficientemente mayor que la presión atmosférica para vencer la tensión superficial del fluido”. De esta forma, los macroporos se llenarán de aire y restringirán el flujo, por lo tanto, prevalecerá el flujo a través de los microporos dando lugar al flujo capilar (Cadena 1997, Singer & Munns 1999).

2.4.4. Balance hídrico

El balance hídrico es la valoración del agua del suelo a través del año, se estima por los aportes, pérdidas y retenciones. El agua retenida es la diferencia entre el agua recibida por precipitaciones (mm,) y el agua pérdida por evapotranspiración (mm,) y escorrentía (Dorronsoso 2005).

El balance hídrico se realiza partiendo de los datos climáticos mensuales de precipitación y temperatura. A partir de las temperaturas se calculan las evapotranspiraciones potenciales (cantidad de agua que se podría perder considerando las características climáticas) y reales (cantidad de agua que realmente se pierde teniendo en cuenta la que hay en el suelo en cada momento). Luego se calcula la reserva de agua en el suelo (agua útil por profundidad

de enraizamiento por la densidad aparente) para saber la cantidad de agua que puede almacenar el suelo (reserva de agua para los meses secos) y posteriormente se mide como varía la reserva a lo largo del año (Dorronsoso 2005).

2.5. Sistema de información geográfico

El término SIG se establece de la palabra en inglés Geographic Information System (GIS). Se le define como una herramienta de software que nos permite almacenar, recuperar, analizar y desplegar información geográfica [E.S.R.I., 2001].

Éste tiene la capacidad de efectuar una gestión completa de datos referenciados geográficamente. Por datos referenciados se indica a los datos geográficos o mapas que constan de coordenadas geográficas reales asociadas, así como de datos alfanuméricos o descriptivos que se asocien a esos mapas para formar a una base de datos integrada con este concepto de SIG. Por ejemplo, un objeto del modelo del mundo real es una construcción, cuyos datos descriptivos son los siguientes: el número de propiedad, su ubicación, y sus medidas, etc. Además de ello una construcción tiene asociada su descripción geométrica.

2.5.1. Elementos de un sistema de información geográfica (SIG)

Un SIG está formado por cinco componentes o elementos y cada uno de esos componentes cumplen con una función para que existan entre ellos una interacción. Es decir, éstos conforman la información para que sea procesada o se realice un tratamiento, los recursos técnicos, humanos y las metodologías que se adopten en la organización o la empresa. A continuación, se describen a esos componentes

2.5.1.1.Hardware

Es el equipo de cómputo con el que opera un SIG. Actualmente el software de estos sistemas se ha adaptado a diversos tipos de hardware desde arquitecturas clientes-servidor hasta computadoras de escritorio aisladas. Para las consultas espaciales el hardware es útil para efectuar el procesamiento de las operaciones que con base a algoritmos solucionan las relaciones entre geometrías.

2.5.1.2.Software

Proporciona las herramientas y funciones necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica, para ello se necesitan de elementos principales de software los cuales son:

- Herramientas para la entrada y manipulación de información geográfica.
- Un sistema de administración de base de datos (DBMS Data Base Management System).
- Herramientas que soportan consultas, análisis y visualización de elementos geográficos.
- Una interfaz gráfica de usuario (GUI Graphical User Interface) de manera que facilite el acceso a las herramientas anteriormente mencionadas. En éste se implementan aplicaciones como las consultas espaciales, los lenguajes visuales para consultas espacio-temporales como lo refiere [Bonhomme, 1999] y en el caso de las consultas espaciales poder utilizar la tercera dimensión de los objetos según Grün [Grün, 1999].

2.5.1.3.Dato

Se refiere al elemento principal para lograr una correcta información. Es decir una vez conocido el objeto del modelo del mundo real, se identifican las propiedades que lo forman, por ejemplo, sus atributos que se refieren a los elementos descriptivos y el tipo de geometría como el elemento espacial. En las consultas espaciales es necesario conocer el tipo de geometría entre los objetos del mundo real que se relacionan topológicamente.

2.5.1.4.Técnicos

Son las personas que se encargan de administrar el sistema, así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios. Por ejemplo, para las consultas espaciales, esas personas se refieren a quienes proporcionan la información fuente, realizan la edición de la información, implementan los algoritmos útiles para resolver las consultas espaciales y los usuarios finales que se favorecen de la aplicación o proyecto elaborado.

2.5.1.5.Métodos

Son los planes de un buen diseño y las normas por parte de la empresa, las cuales son modelos y prácticas de operación de cada organización. [E.S.R.I., 2001].

Este último se basa en los estándares reconocidos para aspectos geográficos, que sugieren las medidas a adoptar para un determinado enfoque de aplicación y de esta manera respaldar su forma de trabajo. Por ejemplo en las consultas espaciales en [OpenGis(99-049), 2001] refiere los modelos para implementar las relaciones topológicas entre objetos del modelo del mundo real basados en un modelo de objetos geométricos. Los componentes mencionados tienen la finalidad para establecer la estructura de un SIG y en concordancia con ello implementar aplicaciones que apoyen la toma de decisiones como por ejemplo las consultas espaciales, reiterando que esa aplicación por sí sola no refleja la solución, sino que es interpretada por la persona responsable de decidir.

2.5.2. Aplicaciones de un sistema de información geográfica (SIG)

- Aplicación Forestal: para determinar la magnitud de la tala y conocer la vía o el acceso a esa tala.
- Bases de datos ambientales: con estos datos realizar planes convenientes a evitar deterioros naturales en una región.
- Censos: con los datos obtenidos conocer los usos de los servicios que se ofrecen en un área como la distribución de agua potable y transporte.
- Grandes bases cartográficas: con estas bases de datos se adquiere más fácilmente el mantenimiento de inventario con referencias espaciales de los bienes inmuebles, así como de su valoración y para preparar una gestión contribuyente en la Administración Pública.
- Planeación Urbana: la elaboración de Planes Generales y Normas subsidiarias, entre otros están los Planes Parciales, Proyectos de urbanización, Proyectos de Compensación y Reparcelaciones, evaluaciones de Impacto Ambiental, Planes Especiales y Catálogos.
- Sistemas de empresas de servicios: para los servicios de transporte que controlan sus equipos con un rastreo satelital.
- Sistemas para el control y modernización de cambios ambientales: estos ofrecen una inspección para zonas de riesgos por factores naturales, y análisis para planes de conservación [Cesga, 2001].
- Existen miles de formas de aplicar los SIGs, al final de camino está la creatividad e ingenio del usuario.

3. Materiales y metodología

3.1. Localización del estudio

El trabajo de investigación se realizó en el área regable del sistema de riego "Campana-Malacatos", con una extensión de 748 ha ubicado en la parroquia Malacatos, perteneciente al cantón Loja, provincia de Loja.

El Sistema de Riego Campana-Malacatos abastece a 1008 beneficiarios, de los cuales el 70% aproximadamente viven en la zona de influencia; el área regable es de 748 ha y están distribuidas en tres zonas:

Zona I: zona de influencia, Santa Gertrudis, El Porvenir, Nangora, Chorrillos.

Zona II: El Carmen, El Sauce, San José Bajo.

Zona III: San Francisco, El Pedregal y La Granja.

La longitud del canal es de 38,62 km (13,62 km de canal principal y 25 km de redes secundarias); además, posee las siguientes obras especiales: tres acueductos, un sifón y cinco túneles.

El canal de riego Campana-Malacatos tiene las siguientes características estructurales:

El canal principal es de sección rectangular, de 1.10 m de ancho por 0.90 m de profundidad, construido de hormigón simple. Las redes o canales secundarios están construidas de asbesto cemento. Tiene 77 tomas a nivel del canal principal de entre las cuales cuenta con 22 derivaciones, conformadas con redes secundarias y terciarias; 600 m de canales abiertos. Existen 50 cajas rompe presión, 25 cajas de cambio de dirección y 57 terminales de entrega.

El sistema de riego Campana–Malacatos presenta un clima temperado con una temperatura media anual de 18 a 20°C. La precipitación media anual es de 850 mm, presentándose las mayores pluviosidades en los meses de diciembre a abril; la evapotranspiración potencial es de 900 mm, y la escorrentía promedio anual es de 0,0775 m3/s.

Existen dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge: bosque seco montano bajo (bs-MB) y bosque húmedo montano (bh-M). La Subcuenca del río Campana, geológicamente pertenece a la serie Zamora, constituida por filitas y cuarcitas, gneiss biotítico, esquistos, granito metasomático y formado por la orogenia Varística, en el

Paleozoico, la distribución de las filitas, cuarcitas y conglomerados sigue un patrón desordenado, que corresponde a la dinámica de la orogenia (PREDESUR 2001).

3.1.1. Ubicación geográfica

El sistema de riego Campana-Malacatos se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM, Zona 17 Sur, Datum WGS84.

Bocatoma:	**Desagüe:**
699 913m Este	693 905m Este
9 539 874m Norte	9 536 943m Norte

3.1.2. Ubicación política

El sistema de Riego "Campana – Malacatos" se encuentra ubicado en la parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja, a 22 km de la ciudad de Loja, se asienta en la región interandina en el sur oriente de la provincia en la parte alta de la cuenca del río Catamayo.

Figura 9. Ubicación del Sistema de Riego Campana Malacatos

3.1.3. Límites del sistema

Norte: Río Campana y cota canal

Sur: Río Malacatos

Este: Acequias La Granja y Moquillo

Oeste: Quebrada San Francisco.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de Campo

Entre los materiales de campo se utilizaron:

- GPS
- Barrenos
- Cámara fotográfica
- Equipo para toma de muestras no disturbadas (Cilindros KOPEKY)
- Fundas, Libreta, Bolígrafo
- Vehículo

3.2.2. Materiales, equipos y reactivos de laboratorio

Entre los que se utilizaron:

3.2.2.1. Materiales para determinar el valor del contenido de humedad a Capacidad de Campo

Se hizo uso del siguiente Instrumental:

- Platos o placas de cerámica porosa de 1 bar
- Compresor de 20 bar
- Extractor u olla de bajas presiones.
- Cilindros de 4,7 cm x 3,0 cm de aluminio
- Manómetro
- Reguladores de presión
- Balanza
- Estufa de secado (105ºC)

3.2.2.2. Materiales para determinar el valor del contenido de humedad a Marchitez Permanente

Se hizo uso del siguiente Instrumental:

- Membrana de Richards (de acetato de celulosa) o plato poroso para 15 bares.
- Extractor de membrana u olla de altas presiones.

- Aros de goma (1 cm de alto x 3 cm de diámetro).
- Compresor de 20 bares.
- Manómetro.
- Reguladores de presión.
- Balanza.
- Estufa de secado (105ºC).

3.2.2.3.Material para determinar la clase textural

Para ello se hizo uso del siguiente Instrumental:

- Muestra de suelo.
- Vasos plásticos de 250 ml.
- Pipetas de 5 o 10 ml.
- Vaquetas.
- Probetas Buyucus.
- Agitador mecánico para suelos con sus accesorios.
- Balanza.
- Hidrómetro (ASTM)
- Termómetro centígrado 250°C
- Agua Destilada
- Alcohol Amílico
- Agentes dispersantes: Hidróxido de sodio 1 Na, Na (OH) + Oxalato de sodio saturado (C204Na2)

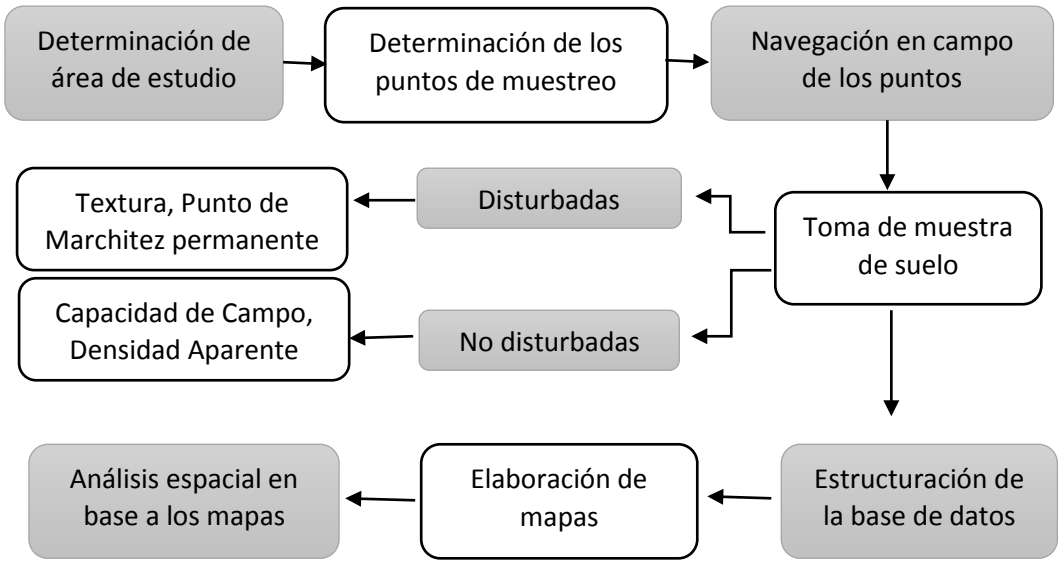
3.2.3. Materiales de Oficina

Los materiales de oficina utilizados fueron:

- Computador
- Software especializado ArcGis, herramienta ArcMap 10.3
- Impresora
- Suministros
- Bibliografía especializada
- Papel bond

3.3. Metodología

A continuación, se expresa el flujograma del proceso para la determinación de las constantes hidrofísicas en el Sistema de riego “Campana Malacatos”



3.3.1. Toma de muestras

Para la toma de muestras primeramente se determinó un número de muestras distribuidas en toda la extensión del sistema, mismas que permitan la interpolación y posterior expresión gráfica; se aplicó una técnica especializada de muestreo en campo, procesos que se detallan a continuación.

3.3.1.1.Tamaño de la muestra

La técnica básica que se utilizó en la investigación de campo fue la toma directa de muestras, misma que se realizó en cuadrícula con puntos cada 400 metros en toda la zona de estudio, para esto se hizo uso del software especializado en Sistemas de Información Geográfica ArcGis, para construir una malla con puntos cada 400m por 400m.

La toma de muestra en cuadrícula es recomendada por el INTA de Argentina, ya que a través de ella se establece una interpolación de datos que permite la elaboración de mapas de las constantes hidrofísicas del suelo en el sistema de riego “Campana Malacatos” de una manera más representativa.

Una vez establecidos los puntos, se obtuvieron las coordenadas de cada punto, con el uso del software ArcGis; definiéndose 92 sitios de muestreo

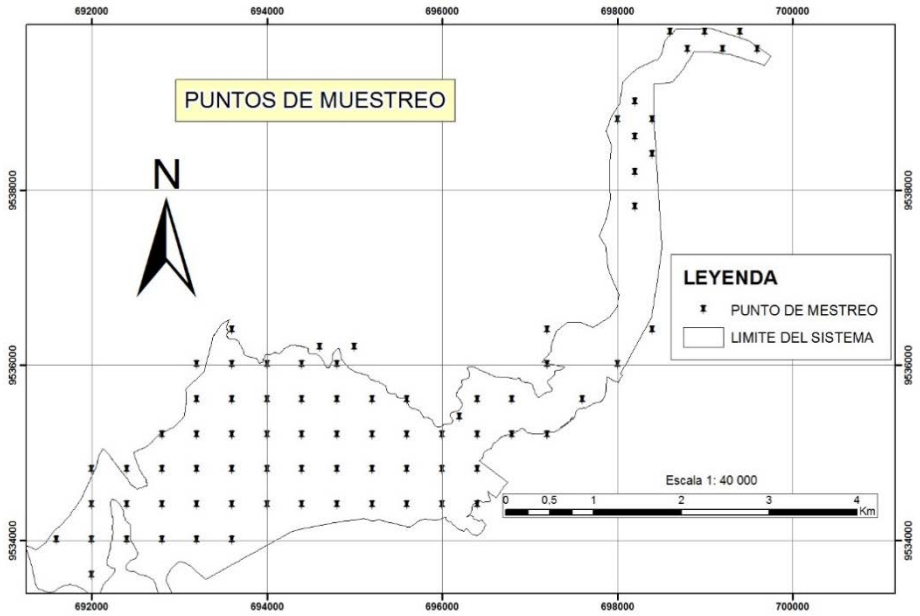


Figura 10. Mapa de los puntos de muestreo

3.3.1.2.Técnica de muestreo

Con los puntos en el mapa y las coordenadas establecidas, se recorrió el lugar de estudio en toda su extensión con un GPS navegador, determinando en el campo punto por punto los lugares donde se tomó las muestras, exceptuando13 sitios en los cuales el uso del suelo no es agrícola, por ser suelo muy superficial con afloramientos rocosos y pendiente abrupta del terreno.

Una vez en el sitio se procedió a tomar dos tipos de muestras, disturbadas y no disturbadas. Para la toma de muestras no disturbadas, se perforó el suelo hasta una profundidad aproximada de 20 cm (esta profundidad es la recomendada por el INTA de Argentina, en su libro “Técnicas de toma y Remisión de muestras”) una vez en este horizonte se tomó muestras no disturbadas con el equipo especializado, los cilindros Kopeky.

Para la toma de muestras disturbadas, se tomó una cierta cantidad de suelo que se la extrajo con el Barreno.

3.3.1.2.1. Toma de muestra para determinación del contenido de humedad capacidad de campo y densidad aparente

Procedimiento:

- En situaciones de suelo muy seco y suelto se agregó agua al mismo, ya que este debe tener una cierta humedad que permita extraer la muestra sin que se fracture.
- Se introdujo los cilindros a la profundidad antes mencionada.
- La muestra de suelo tenía que sobrepasar los extremos del cilindro unos 5 mm (sobrante).
- Se selló el cilindro que contiene a la muestra sin disturbar con su respectiva tapa, con el fin de evitar compactación, pérdida de humedad o pérdida de material por manipulación.
- Se identificó cada muestra para evitar confusiones posteriores.

3.3.1.2.2. Toma de muestra para determinación del contenido de humedad punto de marchitez permanente

Procedimiento:

- Se tomó 200 gramos de muestra disturbada a 20 cm de profundidad.
- Se rotuló cada muestra.
- Se hizo 2 repeticiones por sitio.

3.3.1.2.3. Toma de muestra para determinación de la clase textural

Procedimiento:

- Con el barreno se tomó una muestra disturbada a 20 cm de profundidad en el suelo, con aproximadamente de 200 g de peso.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a transportarlas al laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad nacional de Loja.

3.4. Metodología para el objetivo "Establecer y estructurar una base de datos georreferenciada de las constantes hidrofísicas del sistema de riego "Campana-Malacatos"

Para estructurar una base de datos de las Constantes Hidrofisicas del Sistema de Riego Campana Malacatos, primeramente, se conocen los valores de estas constantes, los valores están expresados en porcentaje en base a peso.

Las constantes hidrofísicas que se lograron fueron:

- Capacidad de Campo a 1/3 atm
- Capacidad de Campo a 1/10 atm
- Marchitez Permanente a 15 atm

Además se determinó dos propiedades del suelo:

- Densidad Aparente
- Textura

3.4.1. Determinación del contenido de humedad capacidad de campo, base peso

Preparación de la muestra:

- Se enrasó los cilindros, quitando el material sobrante de los bordes inferior y superior, obteniendo una superficie de apoyo homogénea con el plato poroso.

Procedimiento:

- Se saturó la placa porosa durante 24h en un recipiente con agua destilada.
- Se colocó cada muestra sobre papel filtro.
- Se saturó la muestra con agua destilada para humedecer por capilaridad durante 24h y en algunos casos hasta que se observó una lámina de agua en la superficie de la muestra.
- Se colocó la placa porosa saturada dentro de la olla.
- Se colocaron las muestras saturadas sobre la placa porosa y se cerró la olla.
- Se le aplicó una presión de 0.33 bar (correspondientes a capacidad de campo).
- Se deja trabajar el equipo por 24 horas, se retiraron las muestras y se pesaron.

Se secaron las muestras en estufa (105 °C) durante 24 horas y luego se pesaron nuevamente.

Procedimiento escritorio:

Con los datos obtenidos del laboratorio se realizó el cálculo aplicando la fórmula.

$$\%\ de\ Humedad\ CC = \frac{Peso\ húmedo\ (g) - Peso\ seco(g)}{Peso\ seco(g)}\ x\ 100$$

El contenido de humedad a capacidad de Campo quedó expresado en porcentaje, esto se hizo con todas y con cada una de las muestras.

3.4.2. Determinación del contenido de humedad punto de marchitez permanente, base peso

Preparación de la muestra y procedimiento

- Se secó y pasó las muestras por un tamiz de 2 mm.
- Se colocó la membrana dentro del extractor.
- Se colocaron los aros de goma sobre la membrana, se llenaron con el suelo y se enrasaron.
- Se saturaron por 24 horas las muestras sobre la membrana.
- Se cerró y se ajustó con llave de torque.
- Se le aplicó una presión de 15 bares, por 24 horas.
- Se retiró las muestras de los aros, y se colocó el suelo en un recipiente para su pesaje.
- Se secaron las muestras en estufa (105 °C) por 24 horas y luego se pesaron nuevamente.

Procedimiento escritorio:

Con los datos obtenidos del laboratorio se realizó el cálculo.

$$\%\ de\ Humedad\ PMP = \frac{Peso\ húmedo\ (g) - Peso\ seco(g)}{Peso\ seco(g)}\ x\ 100$$

El contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente quedó expresado en porcentaje, esto se hizo con todas las muestras.

3.4.3. Determinación de la densidad aparente

Procedimiento de laboratorio:

- Se enrasó los cilindros, quitando el material sobrante de los bordes inferior y superior.
- Se secaron las muestras en estufa (105 °C) hasta alcanzar un peso constante y luego se pesaron nuevamente.
- Se tenía conocimiento del volumen del cilindro.

Procedimiento de escritorio:

Con los datos obtenidos del laboratorio se realizó el cálculo.

$$Da\ \frac{g}{cm^3} = \frac{Peso\ del\ suelo\ seco\ (g)}{Volumen\ del\ cilindro\ (cm^3)}$$

3.4.4. Determinación de la textura

Para analizar a que clase textural pertenecía cada muestra se lo hizo mediante el método conocido como Buyucus o método del Hidrómetro.

Procedimiento:

- Se pesó 50 gramos de muestra de suelo (TFSA).
- Se la colocó en un vaso plástico de 250 ml.
- Se agregó 100 ml de agua destilada y 5 ml de hidróxido de sodio 1 N, mas 5ml de oxalato de sodio saturado.
- Se dejó en reposo durante 30 minutos, luego se agitó la mezcla con una vaqueta.
- Se vertió en el vaso de dispersión y luego se agitó para dispersar durante 5 minutos para suelos arenosos o 15 para suelos arcillosos.
- Se trasvaso la suspensión dispersada a la probeta de vidrio Bouyucus sin dejar nada en el vaso, se adicionó agua destilada con la ayuda de la pipeta enjuagando el vaso y depositándolo en la probeta.
- Se completó 1000 ml con agua destilada con la ayuda del hidrómetro.
- Se introdujo el agitador dentro de la probeta y con movimientos de arriba abajo se agitó hasta q la mezcla de solidos se uniformizó.
- Con el hidrómetro metido en la probeta, se midió la primera lectura al final de los 40 segundos (anotando la hora de inicio), y se anotó en el cuadro de resultados.
- En casos cuando hubo espuma, se adiciono alcohol amílico sobre la superficie de la superficie.
- Se retiró lentamente el hidrómetro, y se registró la temperatura en la suspensión, anotando en el cuadro de resultados.
- Se puede repetir varias veces los pasos de la primera lectura hasta que se esté seguro de que hizo bien la lectura a los 40 segundos.
- Después de transcurridos 120 minutos de sedimentación se realizó una segunda lectura con el hidrómetro conjuntamente con el registro de la segunda temperatura y se anotó en el cuadro de resultados.

Procedimiento de escritorio:

El hidrómetro mide gr/lt del material en suspensión. Después de haber cesado la agitación, se realizó la lectura a los 40 segundos esta es una medida de (ARENA) en suspensión. La lectura a los 120 minutos, es una medida de ARCILLA en suspensión, las lecturas iniciales deben der corregidas en base a la temperatura de la suspensión.

- El hidrómetro esta calibrado a **67°F (20°C).** El factor de corrección es de 0,36°C.
- Por cada grado de diferencia se sumó el factor si la temperatura de la suspensión estaba en la temperatura calibrada (20°C) y se restó si la temperatura de la suspensión estaba por debajo de la temperatura de calibración (20°C).
- Para las correcciones de la lectura del hidrómetro, se utilizó la siguiente tabla que esta deducida de la ecuación de sedimentación de Fisher-Oden.

Tabla 2. *Tabla de Conversión y Corrección deducida de la ecuación de Fisher-Oden.*

Temperatura (°C)	Factor de corrección
14	-2,16
15	-1,80
16	-1,44
17	-0,108
18	-0,72
19	-0,36
20°C Calibración	**0,0**
21	2,16
22	1,80
23	1,44
24	0,108
25	0,72
26	0,36

Elaboración: Fisher-Oden

Cálculo del % de arena en suspensión:

$$\%\ Arena\ (Ao) = 100 - (\%\ Limo + \%\ Arena)$$

$$\%\ Arena\ (Ao) = 100 - (1ra\ lectura\ corregida\ x\ 2)$$

Con la segunda lectura corregida se obtuvo el % de Arcilla

$$\%\ Arcilla\ (Ac) = 2da\ lectura\ corregida\ x\ 2$$

Para obtener el % de Limo se aplicó la siguiente ecuación

$$\%\ Limo\ (Lo) = 100 - (\%\ Arcilla + \%\ Arena)$$

Con los respectivos porcentajes de las fracciones; Arena (Ao), Limo (Lo), y Arcilla (Ac). Se utilizó el triángulo textural para realizar la clasificación del suelo.

La clase textural está dada por el nombre del área en la cual se interceptan las tres líneas.

3.5. Metodología para el objetivo “determinar las constantes hidrofísicas del suelo para el sistema de riego “Campana-Malacatos” para su posterior uso en el riego tecnificado”

En este caso al hablar de la determinación de las constantes hidrofísicas se hizo referencia a la elaboración de mapas, en específico se elaboraron seis mapas.

- Mapa de Capacidad de Campo
- Mapa de Marchites Permanente
- Mapa de Densidad Aparente
- Mapa de Textura
- Mapa de Agua Aprovechable
- Mapa de las Condiciones Físicas del Suelo

Con los resultados de las características mencionadas anteriormente anterior se ordenó la base de datos para poderla procesar en el software ArcMap 10.3 y procesarla empleando la herramienta “Spline”, la cual utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos de entrada (ESRI, 2013).

Conceptualmente, los puntos de muestra extruden hasta la altura de su magnitud. Spline curva una hoja de goma que pasa a través de los puntos de entrada y minimiza a la vez la curvatura total de la superficie. Ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos de entrada más cercanos mientras pasa a través de los puntos de muestra. Este método es mejor para generar superficies que varían levemente, como la elevación, la altura de las tablas de agua o las concentraciones de contaminación.

La forma básica de la curvatura mínima de interpolación por Spline impone las siguientes dos condiciones en el interpolante:

La superficie debe pasar exactamente por los puntos de datos.

La superficie debe tener una curvatura mínima. La suma acumulativa de los cuadrados de los términos de la derivada segunda de la superficie tomada sobre cada punto de la superficie debe ser un mínimo.

La técnica de curvatura mínima básica también se conoce como interpolación por lámina delgada. Asegura una superficie suave (continua y diferenciable), junto con superficies continuas de derivada primera. En las inmediaciones de los puntos de datos pueden ocurrir cambios rápidos en la gradiente o pendiente (derivada primera), por lo que este modelo no es adecuado para estimar la derivada segunda (curvatura).

3.6. Metodología para el objetivo "realizar la evaluación de las condiciones físicas del suelo del sistema de riego "Campana-Malacatos".

Para realizar la evaluación de las condiciones físicas se utilizó el diagrama triangular de (ILACO, B. V. 1981), donde se presentan los valores porcentuales de la capacidad de aireación en la parte inferior y en el lado derecho del triángulo, se encuentran los valores porcentuales del agua aprovechable, considerando como capacidad de campo el contenido de agua retenida a "Pf 2" o 1/10 de atmosfera. El lado izquierdo del triángulo, contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de solidos más el volumen inútil de poros. El volumen inútil de poroso corresponde al valor del contenido volumétrico del agua en el PMP, comprende aquellos poros menores a 0,2 micras, que no proveen de agua ni aire para las raíces.

Para establecer la condición física del suelo y expresarlo de manera espacial en forma de mapa, se evaluó cada una de las muestras, ingresando los datos de cada punto al diagrama.

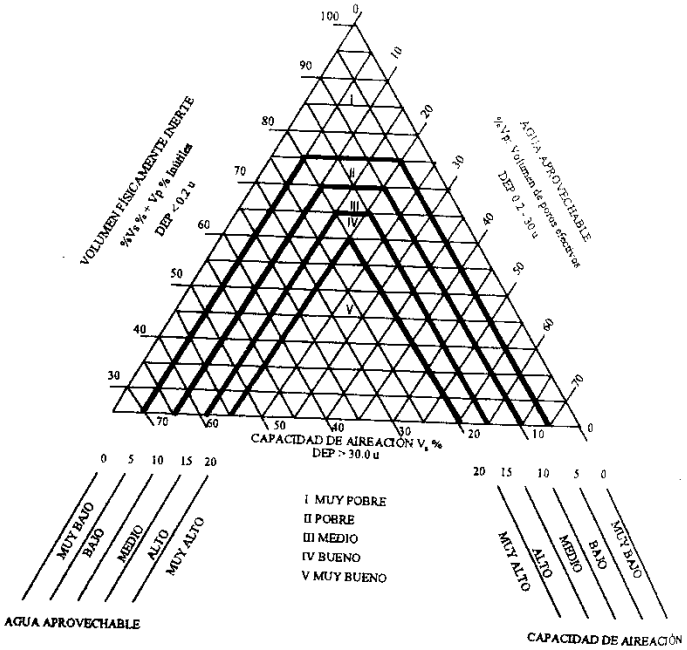


Figura 11. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (ILACO, B. V. 1981)

Internamente el diagrama triangular se encuentra dividido en cinco zonas. La Zona I, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas; en tanto que la Zona V, da cabida a aquella combinación de disponibilidad de agua y aire que se la considera muy buena, las Zonas II, III y IV, corresponden a las condiciones pobre, media y buena respectivamente.

Una vez determinado a que zona pertenece cada punto, se ingresó la información al software ArcGis y se procedió a elaborar el mapa de la misma manera que se efectuó los anteriores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expresan los resultados obtenidos de la presente investigación.

4.1. Base de datos georreferenciada de las constantes hidrofísicas del sistema de riego "Campana-Malacatos".

A continuación, se presentan los resultados de Capacidad de Campo a 1/3 de atm, Punto de Marchitez permanente 15 atm, Agua Aprovechable, Densidad Aparente y Textura para el Sistema de riego "Campana Malacatos", en estimados de porcentajes. (Tabla 3).

Tabla 3. *Base de datos de las constantes hidrofísicas en el sistema de riego "Campana Malacatos",*

Punto	Coordenadas UTM Z 17 s		Saturación %	C.C. (% Humedad a 1/3 atm.)	P.M.P (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm^3)	Agua Aprovechable %	Textura
	X	Y						
1	698400	9538800	31,21	22,97	8,62	1,43	14,35	AcAo
2	698200	9539000	24,51	19,11	9,82	1,53	9,29	AcAo
3	698200	9538600	36,02	23,43	7,88	1,2	15,55	AcAo
4	698400	9538400	31,21	22,97	8,62	1,43	14,35	AcAo
5	698000	9538800	30,26	21,27	8,85	1,37	12,42	FrAcLo

Nota: Tabla completa en Anexo 1.

Como se puede observar en la tabla anterior, el valor máximo de la Capacidad de Campo obtenida en el muestreo es de 51,81% perteneciente al punto 13, de la misma manera el resultado más bajo para esta misma propiedad hidrofísica es de 13,46% perteneciente al punto 9.

Referente al Punto de Marchitez Permanente, se muestra que el valor más alto para esta propiedad hidrofísica es de 32,96%, mientras que el más bajo es de 2,84%, perteneciente al punto 9 y 10 del muestreo.

La Densidad Aparente considerada como una característica física, en términos de gramos por centímetro cúbico, se obtuvo el valor más significativo en el punto 74 con 1,69 g/cm^3; mientras que el valor más bajo en el punto 13 con 1,04 g/cm^3.

El punto donde existe el mayor porcentaje de Agua Aprovechable es el número 76, con un valor del 22,52% y el punto de muestreo donde se halló el menor valor es el 17 con un porcentaje de 3,46%.

4.2. Constantes hidrofísicas del suelo en el sistema de riego "Campana-Malacatos".

A continuación, se muestran los mapas obtenidos de la base de datos de las constantes hidrofísicas para el territorio del sistema de riego Campan Malacatos.

4.2.1. Contenido de Humedad a Capacidad de Campo en base peso.

Dentro del territorio del sistema de riego Campana Malacatos, los valores de contenido de humedad a Capacidad de Campo en porcentaje con base a peso, se sitúan entre 13,46% a 51,81%; encontrándose valores altos y medios en la parte central del área de estudio y bajos en la parte noreste de la misma.

Tabla 4. *Contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo en % base peso.*

HUMEDAD A CAPACIDAD DE CAMPO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL (%)
10-20 (%)	159,84	21,37
20-30 (%)	335,28	44,82
30-40 (%)	216,28	28,92
40-50 (%)	32,60	4,36
MAS DE 50%	3,99	0,53

Con esta información, se puede indicar que, de las 748 ha pertenecientes al sistema de riego Campana Malacatos, la mayor parte del mismo, 335,28 ha representan un 44,82% del área total del Sistema tiene un porcentaje de contenido de humedad a Capacidad de Campo del 20 al 30 por ciento; mientras que una pequeña área del mismo sistema con 3,99 ha que representan 0,53 por ciento del área total, tiene un contenido de humedad a Capacidad de Campo mayor al 50 por ciento.

Estos datos se derivan de la imagen siguiente.

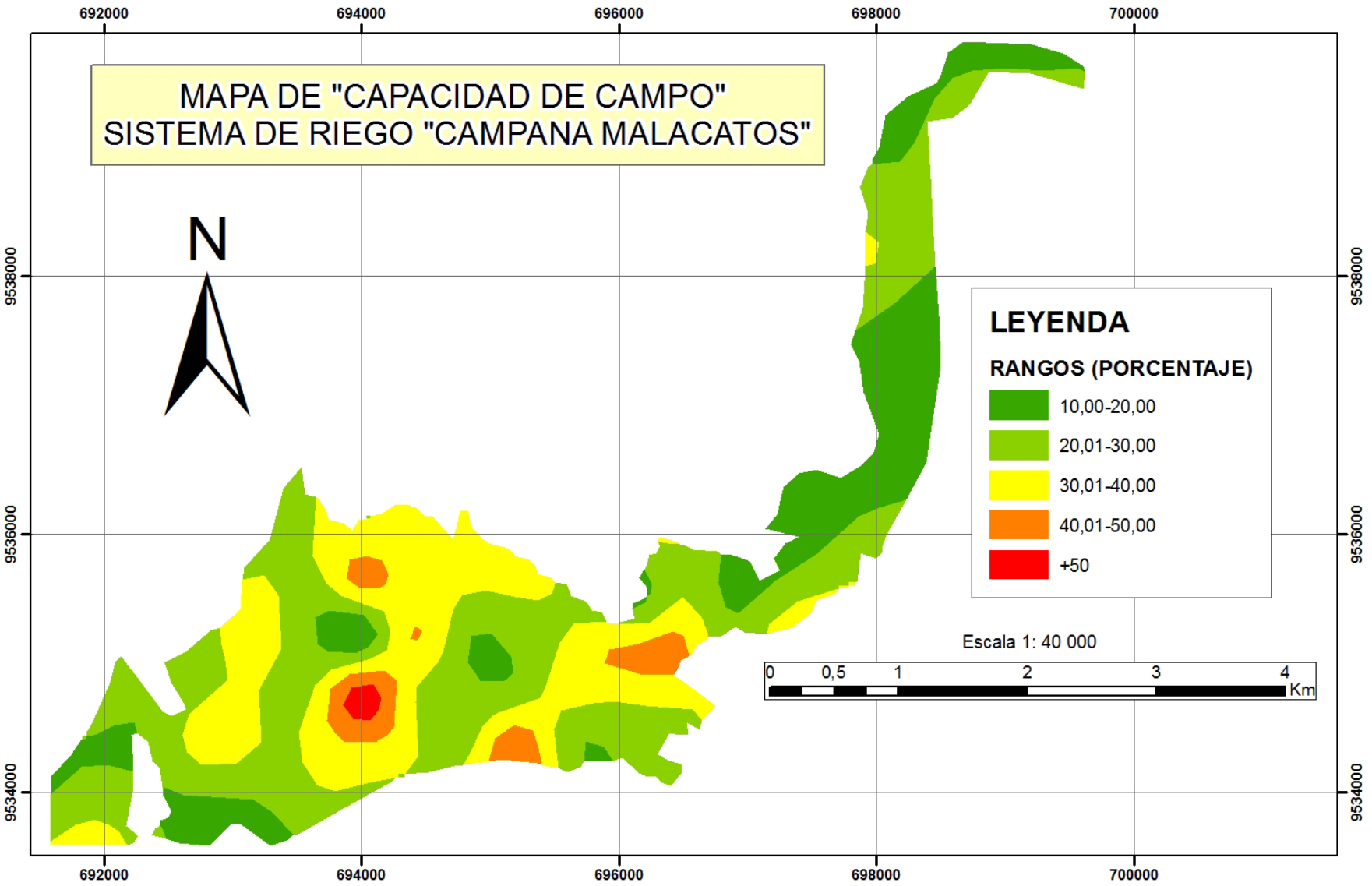


Figura 12. Mapa de Contenido de Humedad a Capacidad de Campo

4.2.2. Contenido de Humedad a Punto de Marchitez Permanente en base peso.

El Punto de Marchitez Permanente representa el límite inferior del agua aprovechable hablando en materia de riego, los valores de contenido de humedad para esta Constante Hidrofísica con respecto al porcentaje base peso dentro del territorio del Sistema de riego "Campana Malacatos", se establecen entre 2,84% a 32,96%, encontrándose valores altos y medios en la parte central del sistema de riego y bajos en la parte noreste del mismo.

Tabla 5. *Contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente en % base peso*

RANGOS	AREA (ha)	PORCENTAJE (%)
(1) 0-10 %	172,71	23,09
(2) 10-15 %	198,59	26,55
(3) 15-20 %	142,18	19,01
(4) 20-25 %	137,30	18,36
(5) 25-30%	69,61	9,31

Según el cuadro 5 se puede expresar que, de las 748 hectáreas pertenecientes al sistema de riego Campana Malacatos la mayor parte del mismo (198,59 ha), con un 26,55 %, tiene un contenido de humedad al punto de Marchitez Permanente del 10% al 15% (Rango 2); mientras que un pequeño porcentaje de área del mismo sistema, es decir el 9,31%, tiene un contenido de humedad del 25 al 30% (Rango 5), que representan 69,91 ha.

Estos datos proceden de la imagen siguiente.

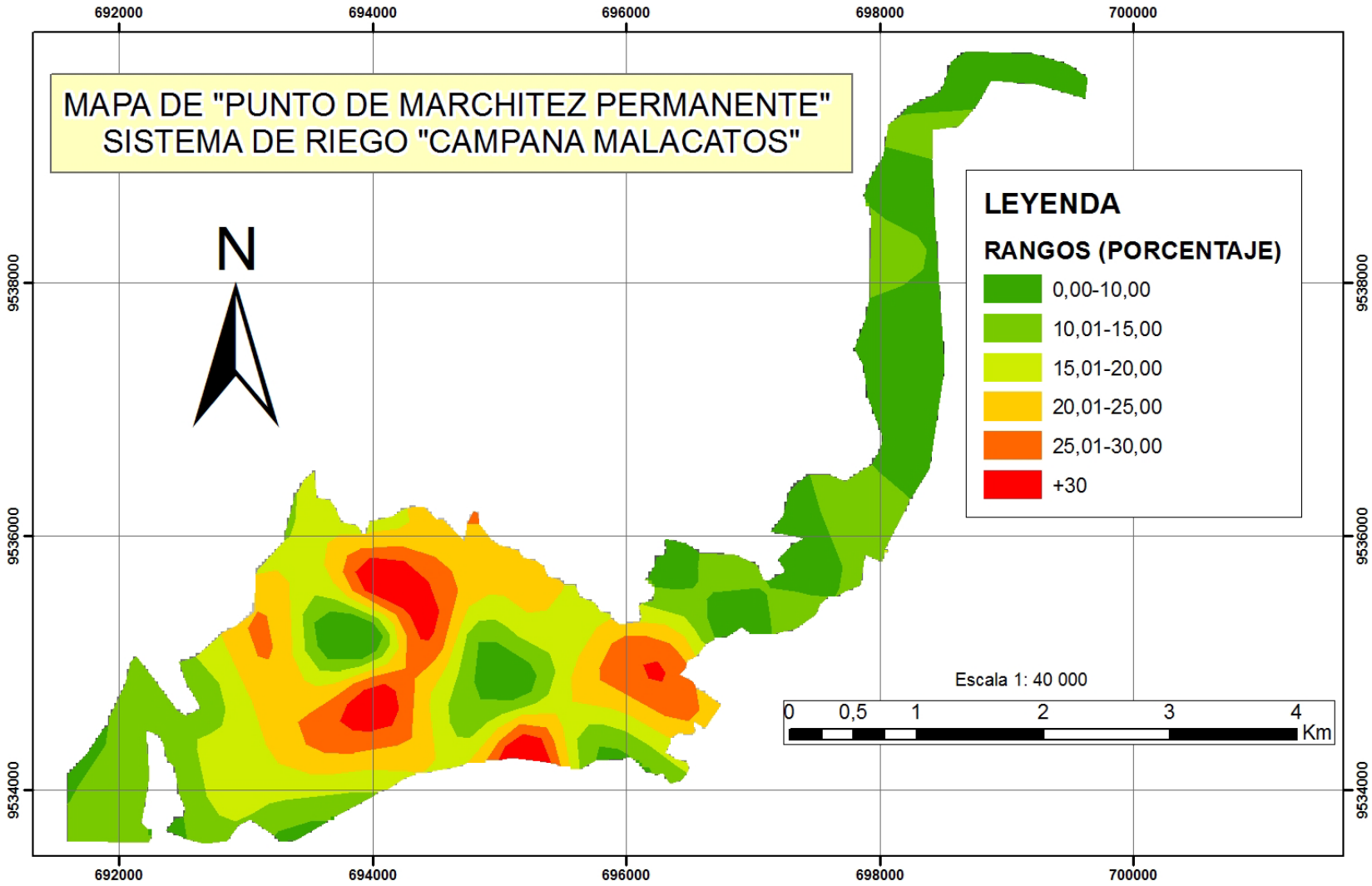


Figura 13. Mapa de Contenido de Humedad a Punto de Marchitez Permanente

4.2.3. Densidad aparente

Los valores de Densidad aparente, expresada en gramos sobre centímetro cúbico se sitúan entre 1,04 a 1,99 dentro del territorio estudiado, se encontraron valores bajos y medios en la parte central del sistema de riego y altos en la parte noreste del mismo.

Tabla 6. *Densidad aparente*

RANGOS DE DENSIDAD APARENTE g/cm^3	ÁREA (ha)	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL (%)
(1) 1,0-1,2	95,75	12,8
(2) 1,2-1,4	366,46	48,99
(3) 1,4-1,6	247,02	33,02
(4) MAS 1,6	38,77	5,18

La tabla 6 muestra que de las 748 ha pertenecientes al sistema de riego Campana Malacatos la mayor parte del mismo, con un 48,99%, tiene una densidad aparente con un rango 1 (1,0-1,2); mientras que un menor porcentaje de área del mismo sistema, es decir el 5,18%, tiene una densidad aparente con un rango 4 (+ 1,6). Como se muestra en la figura 14.

En base a la información obtenida se puede decir que estos suelos corresponden a suelos minerales debido a que su densidad varía entre 1,0 y 1,6 g/cm^3. Según Del Posso 2009 lo suelos minerales son aquellos constituidos mayoritariamente por materiales minerales provenientes de una roca madre denominada material de partida. Contienen hasta una profundidad de 30 cm menos de 17,4 % de carbono orgánico (30 % de materia orgánica) si la fracción mineral tiene más del 50 % de arcilla; o menos del 11,6 % de carbono orgánico (20 % de materia orgánica) si la fracción mineral no tiene arcilla Se forman con el tiempo al quebrarse el material de partida por diversos procesos físicos, químicos, edafogénicos y biológicos ocasionados por el clima, el drenaje, la lixiviación, la erosión, la vegetación y los organismos vivos. Esto se denomina meteorización.

Además, la Densidad Aparente es un gran indicador del contendido de arcilla en el suelo, es por eso que, contrastándolo con el mapa de Capacidad de Campo, es notable que en los mismos sectores donde el contenido de humedad en esta propiedad hidrofísica es elevado, la densidad aparente proyecta valores bajos, para entender mejor la relación entre la densidad aparente y el contenido de arcilla se expresa el cuadro siguiente.

Tabla 7. *Relación, contenido de arcilla, Densidad Aparente*

CONTENIDO DE ARCILLA (%)	DENSIDAD APARENTE g/cm^3
0-20	1,60
20-30	1,55
30-40	1,50
40-50	1,45
50-60	1,40
60-70	1,35
+ 70	1,30

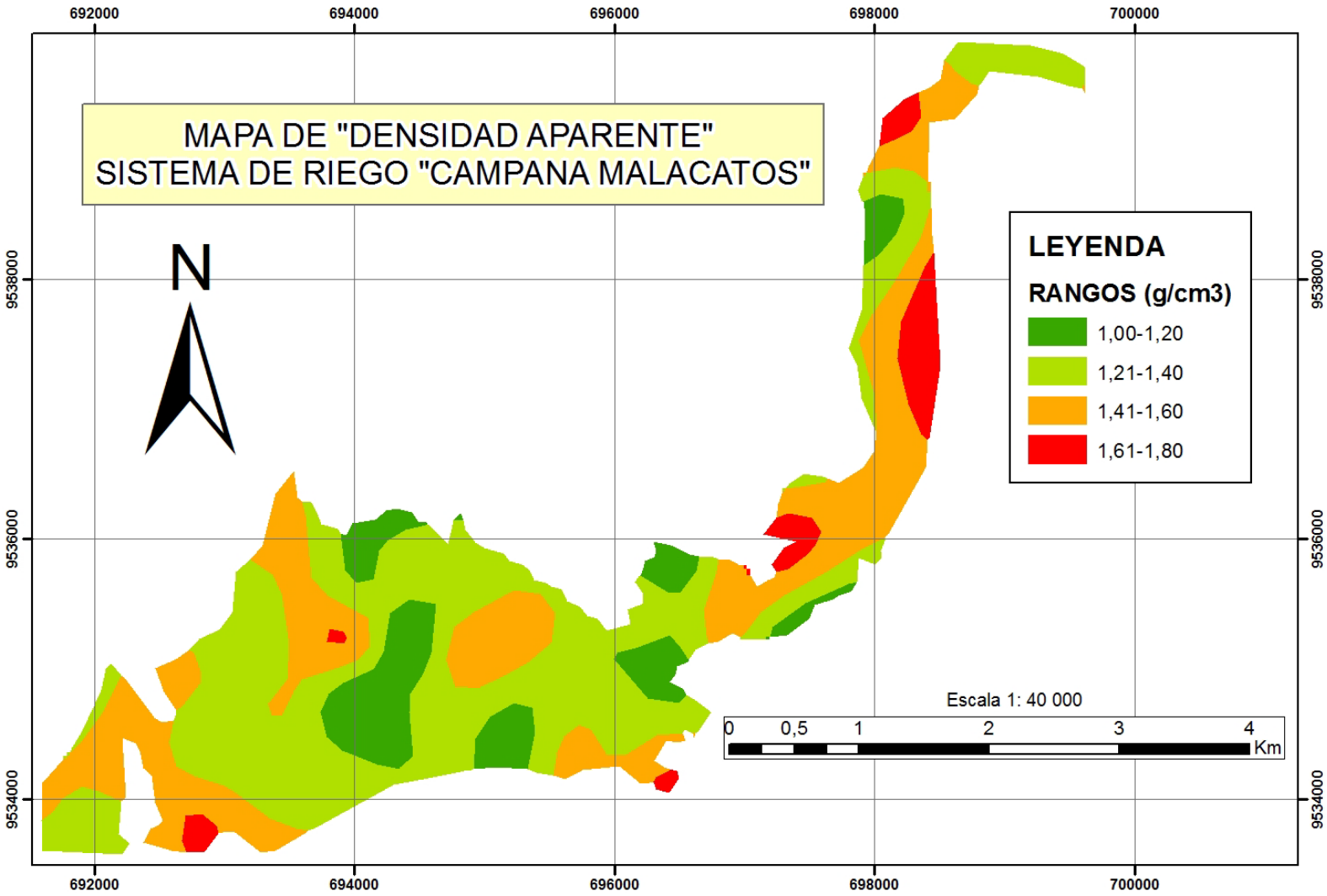


Figura 14. Mapa de Densidad Aparente

4.2.4. Textura del suelo

La Textura varia dentro de la zona de estudio encontrándose los siguientes tipos, Arcillo arenoso, Franco Arcillo Limosos, Franco, Franco Arcilloso y Arcilloso, hallándose distribuidas de forma casi equitativa sin valores significativos diferentes entre ellos. Sin embargo, la mayor exención del territorio de estudio, con 199,86 ha que representan un 26,72% del mismo, tiene una textura Franco Arcillo Limosa; por otro lado la textura que menos territorio ocupa dentro del sistema de riego, es la Arcillo Arenosa, con 97 ha, mismas que representan un 12,97% del mismo.

Tabla 8. *Tipo de Textura y porcentaje de área cubiertos*

TEXTURA	ÁREA (ha)	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL (%)
AcAo	97,00	12,97
FoAcLo	199,86	26,72
Fo	197,33	26,38
FoAc	116,58	15,59
Ac	137,23	18,35

La Densidad Aparente es un gran indicador del contendido de arcilla en el suelo, es por eso que, contrastándolo con el mapa de textura, es notable que en los mismos sectores donde la textura es Arcillosa, la densidad aparente proyecta valores bajos, ejemplo punto 79 de la base de datos.

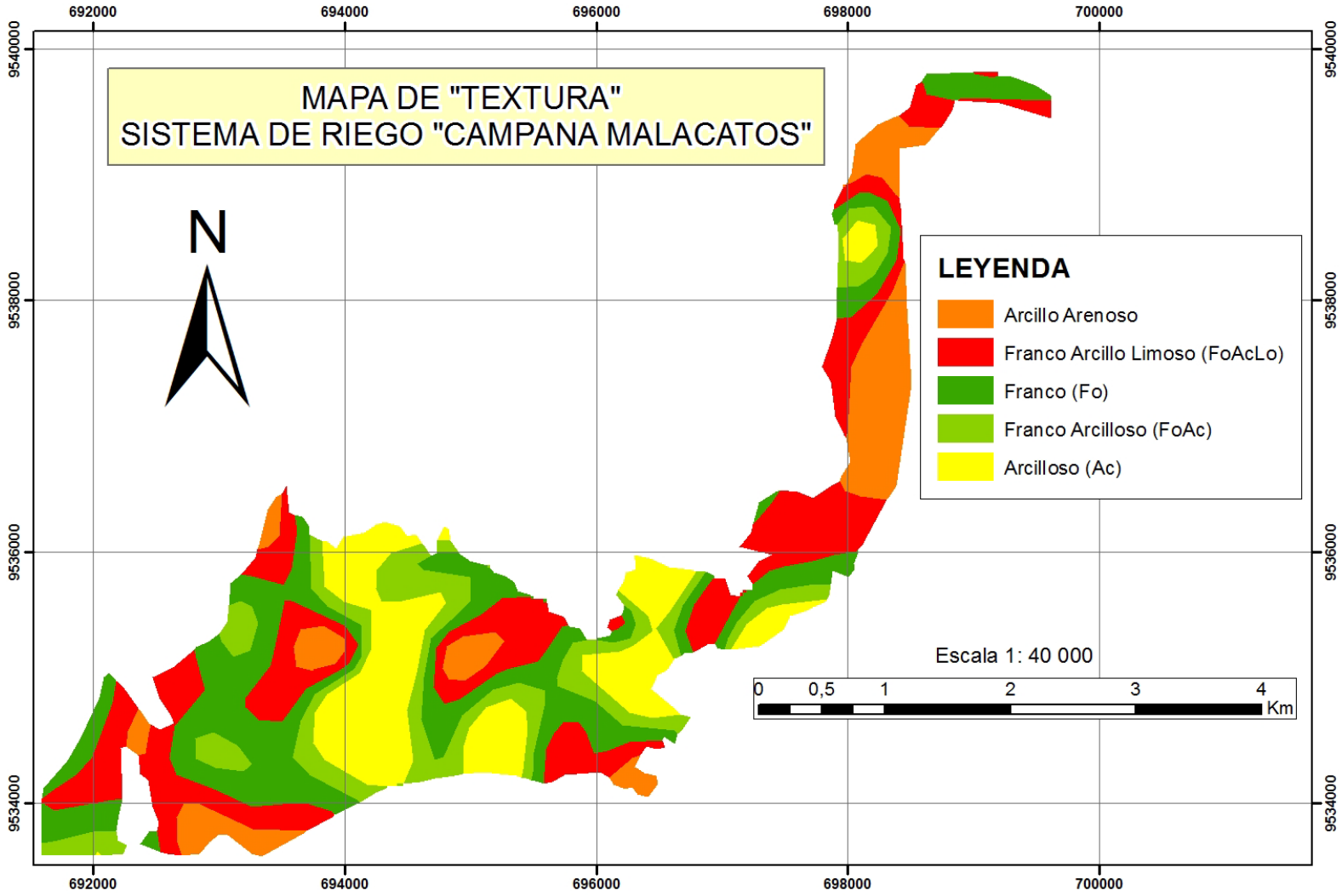


Figura 15. Mapa de Textura del suelo

4.3. Condiciones físicas del suelo en el sistema de riego “Campana-Malacatos”

4.3.1. Base de datos del contenido de Humedad a Capacidad de Campo a 1/10 de atmosfera.

A continuación, se muestran los datos que se utilizaron para entrar en triángulo para la evaluación de las condiciones físicas del suelo. Con esta información se realizó la determinación del agua aprovechable, es decir Capacidad de campo a 1/10 de atm, menos Punto de marchitez permanente a 15 atm.

Tabla 9. *Base de datos, contenido de humedad a Capacidad de Campo a 1/10 de atm*

Punto	Coordenadas UTM Z17s		% Humedad a 1/10
	X	Y	
1	698400	9538800	24,5
2	698200	9539000	20,2
3	698200	9538600	25,1
4	698400	9538400	24,5
5	698000	9538800	22,6

Nota: Tabla completa Anexo 2.

Con el agua aprovechable y la porosidad en el sistema de riego Campana Malacatos, se determinaron los valores para las condiciones físicas del suelo, mismas que varían desde muy pobre a muy bueno en toda su extensión.

Cuando existe una condición física Muy Pobre o Pobre, revela que el porcentaje de agua aprovechable es significativamente bajo, con valores por debajo del 10%, no importa si la Capacidad de Aireación del suelo es alta, cuando el porcentaje agua aprovechable está por debajo del valor indicado, la condición física del suelo siempre será pobre o muy pobre.

Tabla 10. *Tabla de las Condiciones Físicas del Suelo, y áreas cubiertas*

CONDICIÓN FÍSICA DEL SUELO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL (%)
MUY POBRE	9,06	1,21
POBRE	185,07	24,74
MEDIO	345,00	46,12
BUENO	172,11	23,01
MUY BUENO	36,77	4,92

En la zona de estudio las condiciones físicas muy pobre y pobre cubren una superficie de 9,06 y 185,07 hectáreas respectivamente, que representan el 1,21% y el 24,74% de la totalidad del sistema de riego. Por otra parte, las condiciones físicas de Bueno y Muy Bueno con 172,11 y 36,77 ha, representan el 23,01% y 4,92% del área total respectivamente.

Con los datos de Capacidad de Campo a 1/10 de atm y la porosidad (Calculada en base a textura), se Zonifico la zona de estudio y se la expreso en el siguiente Mapa, de donde se generaron los datos anteriores.

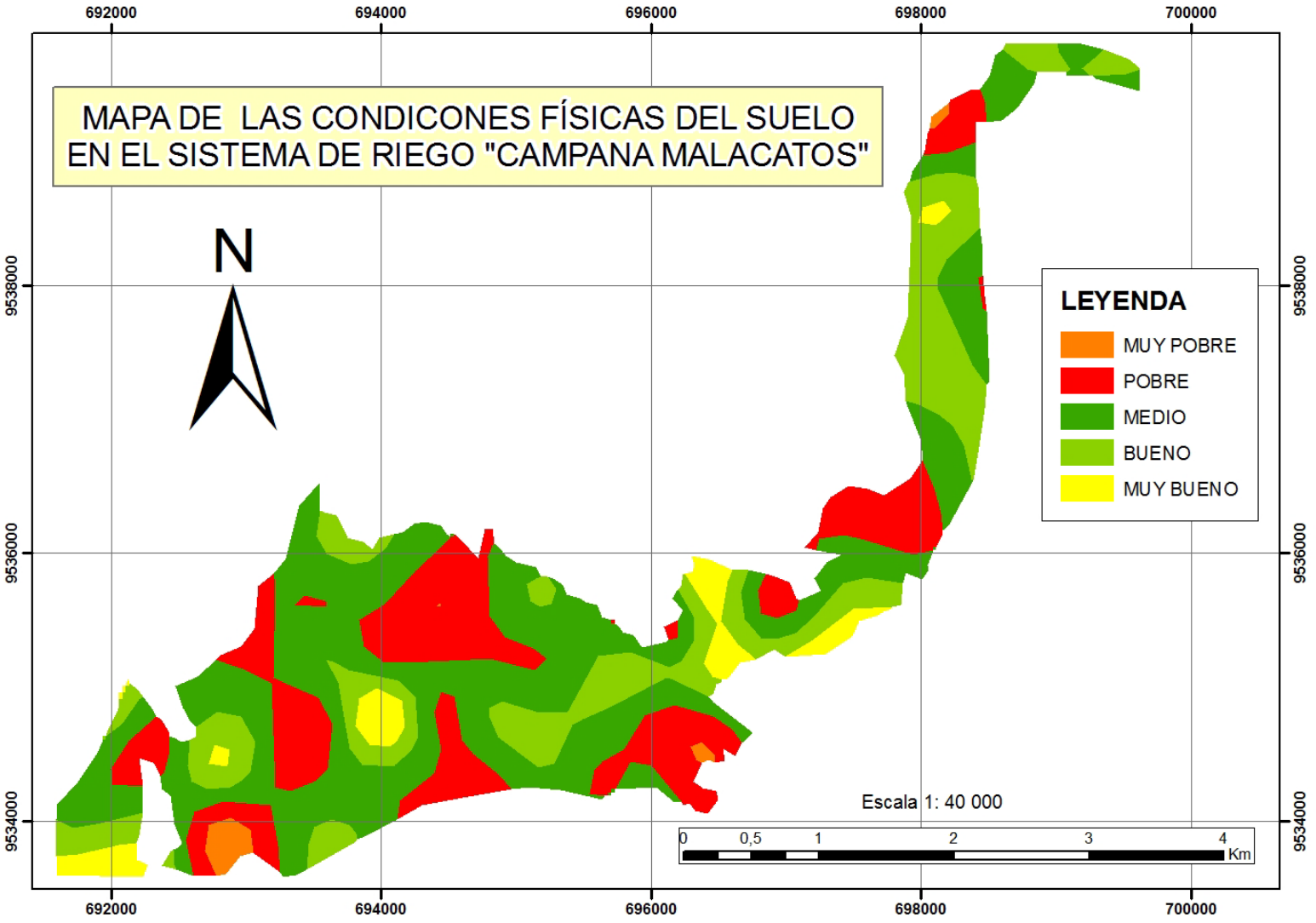


Figura 16. Mapa de las condiciones físicas en el sistema de riego Campana Malacatos

4.3.2. Agua Aprovechable

Los valores de agua aprovechable con respecto al porcentaje en base a peso, se sitúan entre 13,46% a 51,81% dentro de la zona de estudio, el agua aprovechable es resultado de la diferencia de los umbrales de riego superior e inferior, Capacidad de campo y Marchitez permanente respectivamente.

Tabla 11. *Contenido de agua aprovechable base peso, y porcentaje de área cubierto*

RANGOS DECONTENIDO DE HUMEDAD DE AGUA APROVECHABLE	ÁREA (ha)	PORCENTAJE DEL ÁREA TOTAL (%)
(1) 0-10	338,8	45,29
(2) 10-15	310,2	41,47
(3) 15-20	87,5	11,7
(4) MAS 20	11,5	1,54

Con esta de información, se puede decir que, de las 748 ha pertenecientes al sistema de riego Campana Malacatos la mayor parte del mismo 338,8 ha, tiene un porcentaje del 0 al 10% de Agua Aprovechable; mientras que un pequeño porcentaje de área 1,54%, tiene un contenido de Agua Aprovechable mayor al 20%. Datos que se obtuvieron de la figura 17.

Se puede expresar que en los lugares donde la cantidad de agua aprovechable es mayor, las frecuencias de riego pueden ser extendidas, es decir de más días entre ellas, ya que estos sitios los suelos tienen la capacidad de almacenar más recurso hídrico.

Existen puntos dentro del sistema donde la Capacidad de Campo es elevado, pero así mismo el Punto de Marchitez Permanente tiene un nivel alto, esto impide que la disponibilidad de agua sea alta; si se contrasta el mapa de Agua Aprovechable con el de Densidad Aparente se observa que en varios puntos donde el Agua Aprovechable tiene un valor bajo, la Densidad aparente es baja, esto quiere decir que hay grandes contenidos de arcilla en el suelo, presentándose problemas como la compactación.

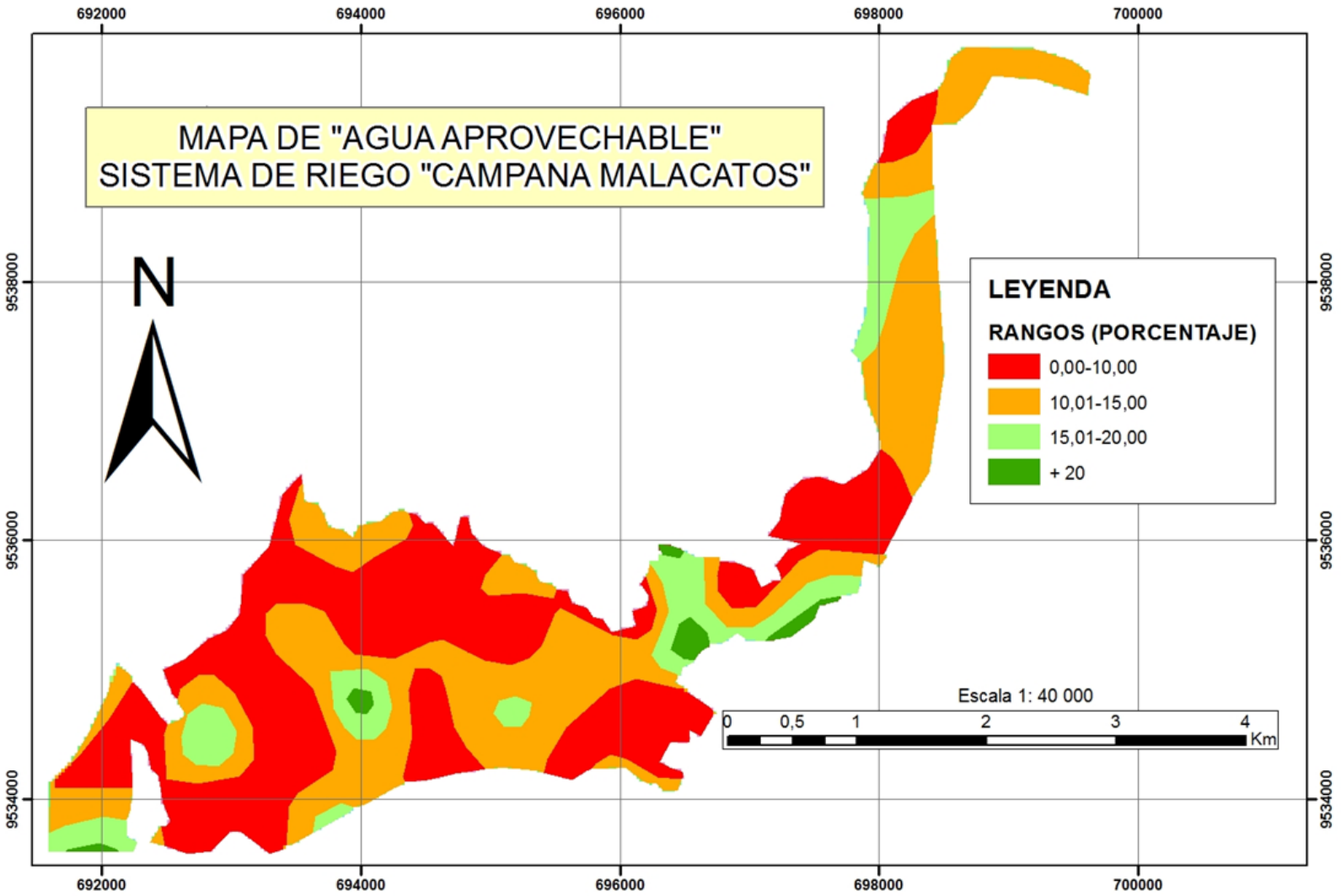


Figura 17. Mapa de agua aprovechable, expresado en porcentaje

5. CONCLUSIONES

- Se generó una base de datos georreferenciada de las Constantes Hidrofísicas que fueron utilizados para la representación espacial dentro del sistema de riego Campana Malacatos mediante mapas, con lo que se tiene una información base que permitirá plantear láminas de riego adecuadas en futuras investigaciones, a cultivos específicos y de esta manera disminuir el mal uso del recurso hídrico.

- El rango de humedad predominante, hablando de contenido de humedad a Capacidad de campo, es del 20 al 30%, con 226,81 hectáreas que representa un 44,82% del área total del Sistema; mientras que 3,99 %, tiene un contenido de humedad mayor al 50%, que representan 0,53 % del área total.

- El rango de humedad predominante, hablando de contenido de humedad en el Punto de Marchitez Permanente, es del 10 al 15%, con 198,59 ha que representa un 26,55% del área total del Sistema; mientras que 9,31%, tiene un contenido de humedad del 25 al 30% que representan 69,91% del área total.

- En puntos como el número 17, 47, 65 entre otros, donde existe un bajo porcentaje de Agua Aprovechable, no es por las características propias del suelo para retención de humedad, sino por la alteración del suelo por compactación, misma que no permite que se extraiga dicha humedad.

- En la zona de estudio las condiciones físicas muy pobre y pobre cubren una superficie de 9,06 y 185,07 hectáreas respectivamente, que representan el 1,21 y el 24,74% de la totalidad del sistema de riego; mientras las condiciones físicas de Bueno y Muy Bueno con 172,11 y 36,77 ha, representan el 23,01 y 4,92% del área total respectivamente

6. RECOMENDACIONES

- Es trascendental continuar con la determinación de las láminas de riego adecuadas a los cultivos, ya que la información que se encuentra disponible y ordenada no tendría mayor relevancia si no se continua con la investigación. Esto ayudara a tomar medidas de control y mejoramiento del aprovechamiento del recurso hídrico en las zonas de producción de la región sur.

- Debido al grado de compactación observado en varios puntos de estudio, es de gran importancia agregar materia orgánica a esos suelos, con el objetivo de mejorar la capacidad de aireación de aquellos y por ende su condición física.

- Informar a los usuarios del sistema de riego que tengas problemas de compactación sobre el empleo del subsolado del suelo, que es una alternativa viable para la descompactación del mismo.

- Entregar esta información a los usuarios del Sistema de Riego “Campana Malacatos”, ya que, si esta información no se aplica en el sitio de investigación, este trabajo habrá sido en vano.

- Explicar y Orientar a los usuarios del sistema de riego Campana Malacatos sobre la forma de aplicación de esta información.

- Emprender proyectos conjuntamente con las autoridades competentes acerca del riego tecnificado, haciendo uso del presente trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Orellana, T., (2010). Validación de los métodos de laboratorio para la determinación de la capacidad de retención de agua en los suelos. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.

FAO, (2010). Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas.

Valarezo, C., Iñiguez M., Valarezo L., y Guaya P., (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador. Loja, Ecuador.

FAO, (2000). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf (14 septiembre 2015).

Cuadrado Sánchez, S. E. Ingelmo Sanchez F. (1986) Propiertes hydriques des souls sous cultures non irrigues. Compt. Rend. XIII eme Congress AISS Vol II.

Michelena, R., Irurtia, C., Eiza, M., Carfagno, P., Pirolo, (2010) T., Manual de Procedimientos de Análisis Físico de Suelos Realizado en el marco del PROYECTO AEGA 224012.

Shaxon, F., Barber, R., (2005) Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal, El significado de la porosidad del suelo

Durán, A., 2000. Propiedades hídricas de los suelos. Cátedra de Edafología. Área de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

García, F., 1980. Relaciones agua-planta. Boletín Nº 5. M.A.P. D.U.M.A.

Kramer, P., 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas.

Silva, A., Ponce de León, J.; García, F. y Durán, A. 1988. Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Boletín de Investigación Nº 10. Facultad de Agronomía. Universidad de la República

Noguera, M., Vélez, J., (2011) Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos.

LASAB. 2010. Métodos analíticos de laboratorio de suelos Loja-Ecuador

Sosa. D., Alvarenga, F., (1996) Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos. INTA.

8. ANEXOS

Anexo 1 *Base de datos completa*

Punto	Coordenadas UTM Z 17 s		Saturación %	C.C. (% Humedad a 1/3 atm.)	P.M.P (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm³)	Agua Aprovechable	Textura
	X	Y						
1	698400	9538800	31,21	22,97	8,62	1,43	14,35	AcAo
2	698200	9539000	24,51	19,11	9,82	1,53	9,29	AcAo
3	698200	9538600	36,02	23,43	7,88	1,2	15,55	AcAo
4	698400	9538400	31,21	22,97	8,62	1,43	14,35	AcAo
5	698000	9538800	30,26	21,27	8,85	1,37	12,42	FrAcLo
6	699600	9539600	30,38	20,05	6,69	1,37	13,36	FrAcLo
7	699400	9539800	31,05	13,46	2,84	1,36	10,61	FrAcLo
8	699200	9539600	30,38	20,05	6,69	1,37	13,36	FrAcLo
9	699000	9539800	31,05	13,46	2,84	1,36	10,61	FrAcLo
10	698600	9539800	31,05	13,46	2,84	1,36	10,61	FrAcLo
11	698800	9539600	30,38	20,05	6,69	1,37	13,36	FrAcLo
12	694000	9535200	25,97	13,5	6,1	1,55	7,41	AcAo
13	694000	9534800	56,96	51,81	30,68	1,04	21,12	Fr
14	693600	9535200	29,19	22,21	7,83	1,48	14,37	FrAc
15	694800	9535200	26,94	22,03	12,35	1,49	9,68	AcAo
16	694400	9535200	50,32	40,08	30,51	1,04	9,57	Fr
17	694400	9535600	36,53	34,61	31,15	1,25	3,46	Ac
18	692000	9534000	30,14	24,2	12,5	1,38	11,7	Ac
19	691600	9534000	27,03	19,56	9,02	1,43	10,54	FrAc
20	692000	9534400	28,79	19,19	11,2	1,44	7,99	FrAc
21	692000	9533600	39,87	33,92	12,69	1,24	21,23	FrAc
22	692400	9534000	25,01	19,83	9,67	1,47	10,16	FrAc
23	694800	9534800	32,1	22,67	10,38	1,37	12,29	FrAcLo
24	695200	9534800	37,26	23,31	8,4	1,25	14,91	AC
25	695200	9535200	27,22	23,55	15,79	1,53	7,75	AcAo
26	695200	9535600	33,57	31,38	21,27	1,4	10,11	Fr
27	694800	9535600	38,69	31,17	22,22	1,24	8,95	FrAc
28	694800	9536000	35,79	30,72	23,6	1,33	7,12	Ac
29	694600	9536200	49,98	33,43	26,24	1,11	7,19	Fr
30	694400	9536000	40,12	31,67	22,35	1,24	9,32	FrAc
31	695000	9536200	49,98	33,43	26,24	1,11	7,19	Fr
32	694000	9536000	44,44	32,63	21,11	1,16	11,52	FrAc
33	693600	9536400	31,58	28,83	18,07	1,39	10,76	Fr
34	693600	9536000	31,28	29,53	18,75	1,42	10,77	FrAc
35	693200	9536000	27,32	21,03	13,35	1,48	7,68	FrAc
36	693200	9535600	38,38	31,56	22,35	1,29	9,2	Ac
37	693600	9535600	28,08	25,71	16,96	1,46	8,75	FrAc
38	692000	9534800	34,92	27,72	12,1	1,32	15,62	Ac

39	692400	9534400	27,06	22,47	14,61	1,51	7,86	AcAo
40	692800	9534000	25,5	21,62	17,14	1,54	4,48	AcAo
41	692800	9534400	39,6	34,71	15,67	1,26	19,04	FrAc
42	692400	9534800	27,61	21,19	14,31	1,49	6,88	FrAc
43	692800	9534800	33,33	28,59	15,14	1,39	13,45	Ac
44	692800	9535200	33,07	27,42	19,59	1,37	7,83	FrAcLo
45	693200	9534000	31,96	22,3	16,71	1,38	5,59	Ac
46	693200	9534400	35,18	30,23	20,97	1,33	9,26	Ac
47	693600	9534400	34,89	32,04	26,86	1,33	5,18	Ac
48	694000	9534400	46,32	41,38	27,7	1,16	13,67	Fr
49	693200	9534800	34,35	30,08	23,96	1,37	6,12	Ac
50	693200	9535200	38,52	33,65	24,88	1,26	8,77	Ac
51	693600	9534800	33,61	28,79	20,7	1,37	8,09	FrAcLo
52	694000	9535600	43,85	40,88	32,96	1,25	7,92	FrAc
53	694400	9534800	44,2	31,73	22,35	1,18	9,38	FrAc
54	694400	9534400	45,58	31,93	22,29	1,18	9,64	FrAc
55	694800	9534400	39,67	25,93	16,09	1,26	9,84	Ac
56	693600	9534000	34,29	28,63	16,49	1,36	12,15	Ac
57	695200	9534400	49,78	45,07	31,82	1,1	13,25	Fr
58	695600	9535600	34,68	28,44	19,12	1,35	9,32	Ac
59	695600	9535200	34,51	30,65	17,92	1,35	12,72	Ac
60	695600	9534800	39,79	33,95	21,17	1,29	12,79	Ac
61	696000	9535200	41,65	36,84	25,34	1,23	11,5	FrAc
62	695600	9534400	31,81	24,5	15,68	1,42	8,82	Fr
63	696000	9534800	37,05	34,2	26,16	1,3	8,03	Ac
64	696000	9534400	32,37	22,22	13,25	1,38	8,97	Ac
65	696400	9534400	29,72	25,17	20,97	1,48	4,2	FrAc
66	698000	9536000	31,19	22,76	14,56	1,42	8,21	Fr
67	698400	9536400	28,95	18,93	5,7	1,5	13,23	AcAo
68	696200	9535400	34,13	23,09	16,33	1,36	6,77	Ac
69	696400	9535600	43,59	26,95	9,73	1,19	17,22	FrAc
70	696800	9535600	28,29	19,38	10,31	1,46	9,07	FrAc
71	696400	9535200	46,28	41,56	21,76	1,17	19,8	FrAc
72	696800	9535200	31,77	25,52	7,06	1,43	18,46	FrAc
73	696400	9534800	43,18	35,54	28,43	1,17	7,1	FrAc
74	697200	9536000	20,02	13,66	7,35	1,69	6,32	AcAo
75	697200	9536400	32,24	18,08	8,28	1,33	9,79	Ac
76	697200	9535200	48,51	33,53	11,01	1,14	22,52	Fr
77	697600	9535600	40,53	28,06	9,42	1,24	18,63	FrAc
78	698200	9537800	26,6	18,83	5	1,54	13,83	AcAo
79	698200	9538200	35,82	27,11	12,25	1,32	14,87	Ac

Nota: Los puntos del 80 al 92 representan la sección del sistema de donde no se implementa al riego, debido a la hostilidad del terreno, zona de peñascos, misma que no permiten que esa sea de producción agrícola, por ende, en estos puntos no se tomó muestras de suelo

Anexo 2 *Base de datos del Contenido de Humedad en base peso a 1/10 de atm.*

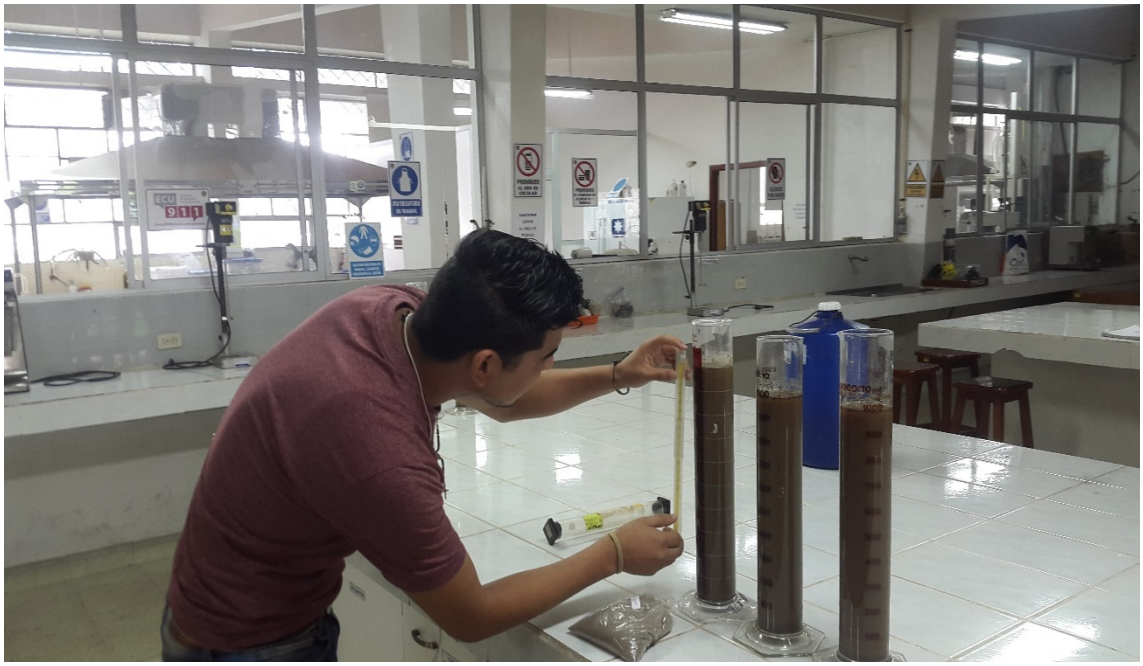
Punto	Coordenadas UTM Z17s		% Humedad	Punto	Coordenadas UTM Z17s		% Humedad
	X	Y	a 1/10		X	Y	a 1/10
1	698400	9538800	24,5	**46**	693200	9534400	31,7
2	698200	9539000	20,2	**47**	693600	9534400	33,1
3	698200	9538600	25,1	**48**	694000	9534400	42,5
4	698400	9538400	24,5	**49**	693200	9534800	30,9
5	698000	9538800	22,6	**50**	693200	9535200	34,9
6	**699600**	**9539600**	**21,9**	**51**	693600	9534800	29,9
7	699400	9539800	16,8	**52**	694000	9535600	41,9
8	699200	9539600	21,9	**53**	694400	9534800	33,6
9	699000	9539800	16,8	**54**	694400	9534400	33,6
10	698600	9539800	16,8	**55**	694800	9534400	29,3
11	698800	9539600	21,9	**56**	693600	9534000	30,1
12	694000	9535200	14,7	**57**	695200	9534400	46,4
13	694000	9534800	55	**58**	695600	9535600	29,6
14	693600	9535200	24,1	**59**	695600	9535200	31,4
15	694800	9535200	23	**60**	695600	9534800	34,7
16	694400	9535200	41,4	**61**	**696000**	**9535200**	**37,7**
17	694400	9535600	35,1	**62**	695600	9534400	25,5
18	692000	9534000	26	**63**	696000	9534800	34,9
19	691600	9534000	21,2	**64**	696000	9534400	23,5
20	692000	9534400	21,6	**65**	696400	9534400	26,2
21	692000	9533600	36,2	**66**	698000	9536000	24,6
22	692400	9534000	21,2	**67**	698400	9536400	21,5
23	694800	9534800	24,3	**68**	696200	9535400	25,6
24	695200	9534800	25,5	**69**	696400	9535600	29,5
25	695200	9535200	21,6	**70**	696800	9535600	20,7
26	695200	9535600	32,1	**71**	696400	9535200	43,1
27	694800	9535600	33,8	**72**	696800	9535200	26,8
28	694800	9536000	32,3	**73**	696400	9534800	36,8
29	694600	9536200	35,7	**74**	697200	9536000	14,6
30	694400	9536000	33,6	**75**	697200	9536400	19,1
31	**695000**	**9536200**	**35,7**	**76**	697200	9535200	35,9
32	694000	9536000	34,9	**77**	697600	9535600	31,5
33	693600	9536400	29,8	**78**	698200	9537800	20,1
34	693600	9536000	30,2	**79**	698200	9538200	28,8
35	693200	9536000	23,1	**80***	698400	9539600	0
36	693200	9535600	33	**81***	698400	9539200	0
37	693600	9535600	26,6	**82***	698000	9539200	0
38	692000	9534800	29,6	**83***	698000	9538400	0

39	692400	9534400	23,6	**84***	698000	9538000	0
40	692800	9534000	22,5	**85***	698000	9537600	0
41	692800	9534400	36,3	**86***	698000	9537200	0
42	692400	9534800	22,6	**87***	698000	9536800	0
43	692800	9534800	30	**88***	698000	9536400	0
44	692800	9535200	28,8	**89***	698000	9536800	0
45	693200	9534000	24,9	**90***	697600	9536400	0

Anexo 3 *Fotografías del Sistema de Riego y actividades en campo*

“SISTEMA DE RIEGO CAMPANA MALACTOS”

EXTRACION Y MANEJO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

NAVEGACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

ANÁLISIS EN EL LABORATORIO DE SUELOS, LOJA UNL