

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de
acuerdo a la textura y al contenido de materia orgánica, transecto
Huaura-Mazo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRONOMO

AUTOR

Ronald Christian Silva Julca

ASESOR

Honorio Eloy Munive Jáuregui

Lima, Perú

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 015 - 2019/UCSS/FIA

Siendo las 11:00 a.m. del día 30 de setiembre de 2019, en el Aula N° 5 de la Filial Huaura: Végueta - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Ing. Alejandro Ruiz Janje | Presidente |
| 2. Ing. José Miguel Montemayor Mantilla | Primer Miembro |
| 3. Dr. Roger Manuel Mestas Valero | Segundo Miembro |
| 4. Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui | Asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada: "**CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA DISPONIBLE EN SUELOS AGRÍCOLAS DE ACUERDO A LA TEXTURA Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA, TRANSECTO HUAURA-MAZO**", que presenta el bachiller en Ciencias Agrarias, el **Sr. Ronald Christian Silva Julca** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Agrario**.

Terminada la sustentación, el Jurado luego de deliberar acuerda:


APROBAR

DESAPROBAR


La tesis, con el calificativo de **Buena** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AGRARIO.

Firmado en Huaura, 30 de setiembre de 2019.


Ing. Alejandro Ruiz Janje
PRESIDENTE


Ing. José Miguel Montemayor Mantilla
1° MIEMBRO


Dr. Roger Manuel Mestas Valero
2° MIEMBRO


Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Eugenia Julca y Adrián Silva por confiar en mí y brindarme el constante apoyo para culminar mi anhelo de tener una profesión que por siempre compartiré con ellos.

A mi esposa Janet y a mis hijos Nicolle, Jairoy y Marian, por ser ellos la clave fundamental para la culminación de mi tesis y ser el motivo para seguir enfrentando con decisión los desafíos de la vida.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por haberme dado la suficiente paciencia e inteligencia, por ser mi constante guía y permitirme disfrutar del aprecio y cariño de mi familia y amigos, a quienes admiro sobremanera.
- Al Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui por su tiempo, paciencia y darme el apoyo necesario para la realización de este trabajo de tesis, así como también por sus consejos y guiarme en el camino de la investigación.
- A mis padres Eugenia Julca y Adrián Silva quienes me brindaron el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida y ser ellos el motor que orienta mis acciones de superación y el logro de mis objetivos.
- A mi esposa Janet por el amor, paciencia y soporte en todos los instantes de mi vida. A mis hijos Nicolle, Jairoy y Marian por darme la felicidad de ser padre y motivarme constantemente para enfrentar la vida con mucha decisión.
- A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae por brindaron sus enseñanzas y ser gestores de mi desarrollo profesional en mi etapa de estudiante.
- Del mismo modo, a mis compañeros de estudios con quienes compartimos conocimientos y gratos momentos de la vida universitaria y a todas las personas que, de una manera u otra, contribuyeron en mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general	v
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Índice de apéndices.....	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas	10
1.2.1. Suelo.....	10
1.2.2. Calidad física del suelo	14
1.2.3. Granulometría del suelo.....	19
1.2.4. El agua	21
1.2.5. El agua en el suelo	23
1.2.6. Abastecimiento de agua	24
1.2.7. Manejo del agua de riego.....	26
1.2.8. Demanda de agua por los cultivos	30
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	32
2.1. Diseño de la investigación.....	32
2.1.1. Lugar y fecha	32
2.1.2. Materiales.....	33
2.1.3. Población y muestra.....	34
2.1.4. Técnicas e instrumentos.....	34
2.1.5. Descripción del experimento	35
2.1.6. Identificación de las variables y su mensuración.....	38

2.1.7. Análisis de datos	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	41
3.1. Caracterización e interpretación de los suelos del transecto Huaura – Mazo	41
3.1.1. Calicata 01 (PM01).....	41
3.1.2. Calicata 02 (PM02).....	42
3.1.3. Calicata 03 (PM03).....	42
3.1.4. Calicata 04 (PM04).....	43
3.1.5. Calicata 05 (PM05).....	43
3.1.6. Calicata 06 (PM06).....	44
3.1.7. Calicata 07 (PM07).....	44
3.1.8. Calicata 08 (PM08).....	45
3.2. Resultados del análisis de las principales características de los suelos del transecto Huaura - Mazo.....	45
3.2.1. pH	46
3.2.2. Salinidad	46
3.2.3. Contenido de carbonatos de calcio	47
3.2.4. Textura del Suelo.....	48
3.2.5. Contenido de materia orgánica	48
3.2.6. Fósforo disponible	49
3.2.7. Potasio disponible.....	50
3.3. Resultados de la capacidad de retención del agua disponible	50
3.3.1. Humedad del suelo.....	50
3.3.2. Capacidad de campo.....	51
3.3.3. Punto de marchitez permanente.....	52
3.3.4. Agua disponible	53
3.3.5. Lámina de agua.....	53
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	56
4.1. Caracterización de los suelos del transecto Huaura – Mazo	56

4.1.1. Suelos de material parental constituido por lutitas calcáreas	56
4.1.2. Suelos de material parental constituido por arenisca gravosa	56
4.2. Resultados del análisis de las principales características de los suelos	57
4.2.1. pH	57
4.2.2. Salinidad	57
4.2.3. Carbonatos	58
4.2.4. Textura	58
4.2.5. Materia orgánica	59
4.2.6. Fósforo disponible	59
4.2.7. Potasio disponible	60
4.3. Tipos de retención de la humedad y el agua disponible en los suelos	61
4.3.1. Humedad	61
4.3.2. Capacidad de campo	61
4.3.3. Punto de marchitez	62
4.3.4. Agua disponible	62
4.3.5. Lámina de agua	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	65
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
TERMINOLOGÍA	74
APÉNDICES	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Superficie de territorio según clase de potencial de agua disponible</i>	8
Tabla 2. <i>Punto de marchitez, capacidad de campo y capacidad de agua aprovechable</i> ...	29
Tabla 3. <i>Valores promedio y rangos de CC, PMP y AD (expresados en peso)</i>	30
Tabla 4. <i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	35
Tabla 5. <i>Variables, unidades de medida y métodos de análisis del suelo</i>	38
Tabla 6. <i>Resultados del análisis de la textura de los suelos en estudio</i>	48
Tabla 7. <i>Resultados del contenido de humedad de los suelos en estudio</i>	51
Tabla 8. <i>Capacidad de campo de los suelos del transecto Huaura-Mazo</i>	51
Tabla 9. <i>Punto de marchitez permanente de los suelos de transecto Huaura-Mazo</i>	52
Tabla 10. <i>Agua disponible de los suelos de transecto Huaura-Mazo</i>	53
Tabla 11. <i>Lámina de agua para riegos de los suelos de transecto Huaura-Mazo</i>	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Calicata y descripción del perfil 01.....	41
<i>Figura 2.</i> Calicata y descripción del perfil 02.....	42
<i>Figura 3.</i> Calicata y descripción del perfil 03.....	42
<i>Figura 4.</i> Calicata y descripción del perfil 04.....	43
<i>Figura 5.</i> Calicata y descripción del perfil 05.....	43
<i>Figura 6.</i> Calicata y descripción del perfil 06.....	44
<i>Figura 7.</i> Calicata y descripción del perfil 07.....	44
<i>Figura 8.</i> Calicata y descripción del perfil 08.....	45
<i>Figura 9.</i> Resultados del análisis del pH de los suelos del transecto Huaura-Mazo.....	46
<i>Figura 10.</i> Resultados del análisis de la conductividad eléctrica de los suelos del transecto Huaura-Mazo.....	47
<i>Figura 11.</i> Resultados del Análisis de carbonatos de calcio de los suelos del transecto Huaura-Mazo.....	47
<i>Figura 12.</i> Resultados del análisis de la materia orgánica de los suelos en estudio..	49
<i>Figura 13.</i> Resultados del análisis del fósforo disponible de los suelos del transecto Huaura-Mazo.....	49
<i>Figura 14.</i> Resultados del análisis del potasio disponible de los suelos del transecto Huaura-Mazo.....	50

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Croquis y puntos de muestreo del transecto Huaura-Mazo.....	77
Apéndice 2. Tablas para la interpretación de los resultados del análisis de suelos	78
Apéndice 3. Densidad aparente de los suelos del transecto Huaura – Mazo.....	80
Apéndice 4. Resultados de los análisis del suelo.....	81
Apéndice 5. Fichas de descripción de los perfiles.....	83
Apéndice 6. Fotografías relacionadas con el desarrollo de la investigación.....	91

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en los suelos del transecto Huaura – Mazo ubicado entre Huaura y Végueta, de la región Lima, para determinar el agua disponible de acuerdo a las principales características edáficas, especialmente la textura y la materia orgánica. La metodología de la investigación se basó en la caracterización de los ocho puntos de muestreo para evaluar el perfil en dos profundidades (de 0-20 y de 20-40 cm), encontrándose dos grupos de suelos: (a) suelos con lutitas calcáreas como material parental, con exceso de humedad por un deficiente drenaje, ubicados en la terraza media del transecto, y (b) suelos con arenisca cuarcítica como material parental, sin problemas de humedad, bien drenados y ubicados en la terraza alta del transecto.

Los suelos estudiados tuvieron un pH moderadamente básico, sin problemas de salinidad, con bajo a medio contenidos de carbonatos, bajos en materia orgánica, bajos a medios en fósforo y de medios a altos en potasio, considerándoseles como suelos de baja fertilidad, recomendándose la aplicación de un buen plan de fertilización y la aplicación de estiércol o compost entre 30-40 t. ha⁻¹.

Se encontró que la humedad de los suelos está en función del porcentaje de arcilla y el contenido bajo de materia orgánica, del mismo modo se encontraron la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, con valores mayores en suelos de textura fina y valores más bajos en los suelos de textura gruesa. Estas características influyeron notoriamente en los porcentajes de agua disponible que variaron desde 10,89 hasta 12,41 % en los suelos finos y de 8,38 a 9,02 % en los suelos gruesos. Estos valores determinaron que las láminas de agua sean muy escasas con valores de 36,6 a 38,8 mm en los suelos gruesos y de 43,7 a 50,8 en los suelos finos.

Palabras clave: Capacidad de campo, lutitas, agua disponible, desarrollo pedogenético, lámina de agua.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the soils of the Huaura - Mazo transect located between Huaura and Végueta, of the Lima region, to determine the available water according to the main edaphic characteristics, especially the texture and organic matter. The research methodology was based on the characterization of the eight sampling points to evaluate the profile at two depths (0-20 and 20-40 cm), with two groups of soils: (a) soils with calcareous shales such as parental material, with excess moisture due to poor drainage, located on the middle terrace of the transect, and (b) soils with quartzitic sandstone as parental material, without moisture problems, well drained and located on the high terrace of the transect.

The soils studied had a moderately basic pH, without salinity problems, with low to medium carbonate contents, low in organic matter, low to medium in phosphorus and medium to high in potassium, being considered as low fertility soils, the application being recommended of a good fertilization plan and the application of manure or compost between 30-40 t.ha⁻¹.

Soil moisture is a function of the percentage of clay and the low content of organic matter, in the same way are the field capacity and the permanent wilting point, with higher values in fine textured soils and lower values in the soil coarse textured soils. These characteristics notably influenced the percentages of available water that varied from 10,89 to 12,41 % in fine soils and from 8,38 to 9,02 % in coarse soils. These values determined that the sheets of water are very scarce with values of 36,6 to 38,8 mm in the coarse soils and of 43,7 to 50,8 in the fine soils.

Key words: Field capacity, shales, available water, pedogenetic development, sheet of water.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de los recursos hídricos está cada día más comprometida, evidenciándose dos aspectos: por una parte, una disminución de la oferta debido a la contaminación, y por otra, el aumento de la demanda por la competencia para usos alternativos (humano, agrícola, minero, ganadero, industrial, recreativo y generación de energía). Esto hace indispensable manejar el aprovechamiento de los recursos hídricos con criterios que permitan asegurar la disponibilidad sostenible y continuada de este recurso de vital importancia, especialmente en la producción de alimentos.

La viabilidad de desarrollo socioeconómico en las regiones áridas depende principalmente de la existencia de una fuente de agua aprovechable con fines de riego integral. La economía del agua es vital para el sostén de la actividad humana. También en las regiones húmedas, el aprovechamiento de recursos hídricos en riego complementario contribuye a minimizar el riesgo de pérdida parcial o total de cosechas e incrementar y estabilizar los rendimientos fisiológicos y económicos de los cultivos. Como señala Génova (1995), en la producción agraria primero debe incorporarse toda la tecnología de cultivo disponible, y luego incorporar la práctica del riego.

En la actualidad, los agricultores aún siguen aplicando el riego por gravedad o inundación, pero no tienen un criterio exacto para aplicar el agua suficiente para sus tierras de acuerdo al tipo de planta que están cultivando. En muchos casos, estarán aplicando menores o mayores cantidades de agua, afectando a los rendimientos de los cultivos por el deficiente aporte del agua de riego o afectar negativamente al cultivo cuando el agua es aplicada en exceso, que además producirá un excesivo lavaje que ocasionará la pérdida del material fino del horizonte superficial, especialmente constituido por arcillas, iones nutritivos y parte de la materia orgánica presente en el suelo en forma de humus. Estas pérdidas generarán un efecto negativo sobre las plantas cultivadas y, por consiguiente, una merma significativa de los rendimientos esperados, afectando seriamente la economía del agricultor.

Es por ello, que se planteó realizar la presente investigación para conocer cómo afecta la clase textural y el contenido de materia orgánica de los suelos, en la disponibilidad del agua aprovechable (AD) por los cultivos en base de las cantidades de este elemento en forma de agua a la capacidad de campo (CC), y agua al punto de marchitez permanente (PMP), planteándose la siguiente interrogación ¿Cómo influye la granulometría y el contenido de materia orgánica sobre la cantidad de agua aprovechable en ocho tipos de suelos ubicados en el transecto Huaura-Mazo?

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el contenido de agua disponible presente en ocho tipos suelos ubicados en el transecto Huaura-Mazo basados en el tipo de textura, donde la arcilla es de suma importancia, y en el contenido de materia orgánica.

Objetivos específicos

- Describir la morfología de los suelos del transecto Huaura-Mazo en dos niveles de profundidad (0 a 20 cm y de 20 a 60 cm) para conocer sus principales características a nivel de campo.
- Determinar el efecto de la clase textural, expresada por el contenido y tipo de arcillas, y el contenido de materia orgánica sobre el porcentaje de agua de los suelos del transecto Huaura-Mazo, para hallar la disponibilidad del agua.
- Calcular los porcentajes de humedad volumétrica a la capacidad de campo (CC) y al punto de marchitez permanente (PMP) en base a la textura y el contenido de materia orgánica para conocer la cantidad de agua disponible (AD).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Chicas *et al.* (2014) en su investigación “Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá”, tuvieron como objetivo determinar modelos estadísticos que permitan estimar de forma indirecta la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente en suelos de la región semiárida ubicada en la subcuenca del río Torja, en el departamento de Chiquimula, Guatemala. Tomando como base las unidades fisiográficas de la subcuenca, realizaron muestreos de suelos considerándose como variables dependientes a la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) y como variables independientes el porcentaje de arcilla, porcentaje de limo, porcentaje de arena, densidad aparente (Da), conductividad eléctrica (CE) y la materia orgánica (MO). Establecieron las relaciones entre estas variables mediante regresión lineal múltiple, generándose los modelos: $CC = 67,31 - (33,77*Da) - (0,23*\text{porcentaje de arena})$ ($R^2 = 0,59$) y $PMP = 55,05 - (28,97*Da) - (0,23*\text{porcentaje de arena})$ ($R^2 = 0,69$). Estos modelos fueron validados tomando diez muestras al azar en el área experimental, obteniéndose una alta correlación de Pearson entre los valores observados y valores estimados a partir de la densidad aparente y porcentaje de arena, siendo de 0,84 para el modelo de capacidad de campo y 0,85 para el de punto de marchitez permanente. Las conclusiones fueron: a) La densidad aparente (Da) y el porcentaje de arena, explicaron ampliamente la variabilidad con relación a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente, b) Los modelos permitieron asegurar una probabilidad mayor del 80 % en la estimación de la de humedad del suelo, y c) La diferencia obtenida al comparar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, sirvió para obtener la capacidad de retención de humedad en los suelos conocida también como agua disponible (AD), parámetro que fue utilizado con múltiples fines dentro de la planificación agropecuaria.

Corado (2014) hizo una investigación para “Evaluar el efecto de cuatro láminas de riego sobre el rendimiento del “plátano” *Musa paradisiaca* L. en la localidad de Jutipa (Guatemala)”, con el objetivo de conocer el efecto de las láminas de riego sobre los principales componentes del rendimiento, especialmente el número de manos comerciales por cada tallo del plátano, trabajo realizado en terrenos con plantaciones de esta especie cultivada en Jutipa, Guatemala. Luego de las evaluaciones del número de manos por planta, tamaño y peso de los mismos, encontró que estadísticamente que las láminas de agua mostraron un comportamiento similar en el análisis de varianza para los componentes del rendimiento del plátano como fue el número de manos comerciales por tallo, expresado en unidades, no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos ante las diferentes disponibilidades hídricas aportadas por las 4 láminas de agua. El cultivo del plátano reaccionó de manera similar debido a las características físicas del suelo y al aporte capilar de agua que tienen estos suelos, concluyendo que el éxito de la fase de fructificación depende de una fase vegetativa inicial con un buen desarrollo como consecuencia de una buena nutrición mineral y una alta disponibilidad hídrica, factores que influyeron considerablemente sobre el número máximo de frutos que fueron desarrollados (número de manos comerciales por tallo). Finalmente afirmó que la confiabilidad de los resultados para esta variable, en función del manejo del experimento, fue considerado aceptable ya que obtuvieron un valor de coeficiente de variabilidad del 7,92 %.

Da Costa *et al.* (2013) realizaron una investigación sobre la “Retención y disponibilidad de agua en suelos del estado de Santa Catarina-Brasil: efecto de las clases texturales, clases de suelos y litología” con el objetivo de evaluar la retención y disponibilidad de agua en los suelos del estado de Santa Catarina, Brasil, según la clase de textura, clase de suelo y litología. De acuerdo con la metodología del proyecto muestrearon los horizontes superficiales y los subsuperficiales de 44 perfiles en diferentes regiones del estado y con diferentes cultivos de cobertura, determinándose la capacidad de campo; el punto de marchitez permanente; el contenido de agua disponible; el tamaño de partículas y el contenido de materia orgánica; la retención y la disponibilidad agua entre los horizontes. Los resultados obtenidos sobre la textural y el contenido de materia orgánica, permitieron concluir que la retención de agua fue mayor en presencia del limo o en suelos arcillosos y cuando el contenido de materia orgánica fue alto, especialmente en suelos húmicos (Cambisoles, nitisoles y ferralsoles) que se desarrollaron a partir de rocas ígneas o

sedimentarias, la disponibilidad de agua fue mayor en suelos con textura franca, con alto contenido de materia orgánica y fue más baja en suelos de textura arenosa, especialmente en los arenosoles formados a partir de depósitos aluviales recientes o en gravas derivados del granito. La mayor disponibilidad de agua estuvo en los horizontes superficiales con mayor contenido de materia orgánica y en las capas subsuperficiales fue mucho menor, notándose claramente la importancia de la materia orgánica en la retención y disponibilidad de agua de los suelos estudiados.

Joseph (2010) en “Un estudio sobre las características de retención de agua de los suelos y sus mejoras en Kochi, Kerala (India)”, tuvo como objetivo determinar la retención de agua y la relación de esta con las características de siete tipos de suelos con fines de mejoramiento, considerando que la zona en estudio requiere de una mayor producción de alimentos con un bajo suministro de agua. La programación del riego en este caso tuvo que ser eficiente en su programación de acuerdo con la etapa del cultivo para evitar que las plantas resulten afectadas por la escasez de agua, lo cual influiría en un mayor rendimiento, de acuerdo con las propiedades físicas del suelo. Como resultado encontró que el parámetro más destacado en la evaluación de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD) para la planta, fue el mayor porcentaje de material arcilloso en el suelo. Asimismo, mediante correlaciones de los resultados, después de varias de pruebas en los siete suelos estudiados, concluyó que la fórmula para calcular la capacidad de campo (CC) es igual a $0,3 \text{ del material fino} + 15,74$ ($R^2 = 0,92$), para determinar el punto de marchitez permanente (PMP) es $0,18 \text{ material fino} + 5,75$ ($R^2 = 0,91$), y (c) $AD = 0,12 \text{ material fino} + 7,89$ ($R^2 = 0,91$). También, consideró que el objetivo más importante en la agricultura de regadío fue minimizar la utilización del agua aplicada porque este insumo fue vital para la producción de cultivos.

Domingo *et al.* (2006) al hacer una investigación para la “Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA” con el objetivo de mostrar una estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo, que fue conocido como el CRA, siendo éste un modelo de base física ampliamente utilizado por técnicos e investigadores como uno de los factores estimadores de las disponibilidades de agua para las plantas. Dentro del proyecto metodológicamente fueron caracterizados los suelos forestales de la provincia

de Huelva en España, habiéndose apreciado una serie de anomalías en cuanto a los valores obtenidos para el parámetro CRA, especialmente en lo referente a la influencia de la pendiente sobre el cálculo del modelo, así como en la determinación del agua disponible para la vegetación, en relación con la reserva total. Este trabajo planteó una sencilla modificación del modelo que permitió obtener valores de capacidad de retención de agua más acordes con la calidad de la estación, en los terrenos forestales de fuerte pendiente, y también extiende el modelo al cálculo de la máxima reserva de agua disponible en el suelo. La bondad de estos parámetros fue contrastada mediante el análisis de correlaciones con resultados satisfactorios.

Molfino y Califra (2001) al hacer un estudio sobre el “Agua disponible de las tierras del Uruguay” mediante la utilización de la base de datos correspondientes a los suelos dominantes y asociados de la carta de reconocimiento del suelo de Uruguay, estimaron el potencial del agua disponible de las respectivas unidades cartográficas (noventa y nueve asociaciones de suelos), efectuándose los cálculos sobre aproximadamente 200 perfiles de suelos diferentes con la utilización de:

- Las ecuaciones que estiman los contenidos de agua en equilibrio con las tensiones de 1/10 atmósferas, 15 atmósferas y la densidad aparente,
- Los espesores y características morfológicas de los diferentes horizontes de los diversos perfiles, y
- Los porcentajes de los perfiles en las Asociaciones de Suelos, así como el grado de afectación por rocosidad, pedregosidad, erosión actual y alcalinidad de éstas.

Los resultados obtenidos por Molfino y Califra (2001), mostraron que las asociaciones de suelos fueron agrupadas en cinco categorías, de acuerdo con el potencial de acumulación del agua en forma disponible. Estas categorías son las siguientes:

- Muy baja (menor a 40 mm),
- baja (entre 40 y 80 mm),
- media (entre 80 y 120 mm),
- Alta (entre 120 y 160 mm) y
- Muy alta (mayor a 160 mm).

Molfino y Califra (2001) agregaron que utilizando el Sistema de Información Geográfica fue posible asignar las categorías resultantes a las respectivas unidades cartográficas. Además, los resultados de la expresión espacial en las diferentes clases calculadas en base a los valores obtenidos de los parámetros de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (Da), fueron restados de los valores de CC y el PMP para obtener el contenido potencial de almacenamiento de agua (AD) en peso para los diferentes horizontes. Luego, fueron multiplicaron esos valores por las respectivas densidades aparentes y espesores para transformar los contenidos de humedad potencial disponible en peso a volumen y milímetros de acuerdo con las fórmulas siguientes:

- $ADH (\% \text{ agua en peso}) = CC (\% \text{ agua en peso}) - PMP (\% \text{ agua en peso})$.
- $ADH (\% \text{ agua en volumen}) = CC (\% \text{ agua en peso}) - PMP (\% \text{ agua en peso})$.
- $ADH (\text{mm}) = ADH (\% \text{ agua en volumen}) \times DaH \times \text{espesor} / 10 \text{ cm}$.
- $ADP (\text{mm}) = ADH (\text{mm})$.

Las clases de potencial de agua disponible, la superficie y el porcentaje, fueron mostrados tal como fue señalado en la Tabla 1.

Tabla 1

Superficie de territorio según clase de potencial de agua disponible

Clase del potencial de agua disponible	Superficie (km²)	Porcentaje de superficie (%)
Muy Baja	16 623,7	9,57
Baja	33 634,5	19,36
Media	57 780,1	33,26
Alta	50 396,1	29,01
Muy Alta	15 265,4	8,79

Fuente: Molfino y Califra (2001).

Nacionales

Portocarrero (2015) al hacer un estudio sobre “Los valores del páramo y los bosques de neblina” en una investigación realizada en Piura, Perú, tuvo como objetivo principal modelar la respuesta hidrológica del páramo en la subcuenca de los ríos Quiroz y Chipillico, arrojando importantes resultados que se detallan de la siguiente manera:

- Los páramos suministran el caudal base de agua especialmente durante la época seca, en este caso con 3,31 y 2,65 m³.seg⁻¹, respectivamente.
- Modelando un decremento acumulado de 30 % del área de páramos, tiene un efecto negativo en la producción de caudales básico, los cuales se reducen a 1,97, 2,27 y 2,65 m³, respectivamente.
- Con la pérdida del 30 % del páramo de la subcuenca tendrían el 14,5 % de decrecimiento del caudal.
- Los cambios en estos volúmenes ponen bajo estrés al reservorio que irriga cerca de 42 000 hectáreas agrícolas en el valle de San Lorenzo.

Con esta base científica fue posible aseverar que al no haberse tomado acciones de conservación de los ecosistemas de páramos y bosques húmedos de montaña, la disponibilidad hídrica fue impactada negativamente y los usuarios del agua en la parte baja de la cuenca sufrieron las consecuencias, como estuvo ya sucediendo en esta cuenca y en otras cuencas de la costa como es el caso de la cuenca del río Huaura y del río Chancay, lugares donde el agua fue escaseando cada vez más, siendo una razón más para tener en cuenta el uso eficiente del agua en la producción agrícola (Portocarrero, 2015).

Regionales

Ventocilla (2015) al hacer la “Clasificación de la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo” por el método de capacidad-fertilidad. Végueta-Huaura” en el centro poblado de Medio Mundo, distrito de Végueta, Huaura, Perú; tuvo como objetivo clasificar los suelos del fundo en mención por fertilidad-capacidad de acuerdo con la metodología propuesta por Sánchez *et al.* (2003). La autora llevó a cabo evaluaciones de la profundidad, gravosidad, aptitud agrológica, reacción del suelo, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, disponibilidad de fósforo y potasio, capacidad de intercambio catiónico y riesgo de erosión. De los resultados obtenidos concluyó que los suelos de la zona estudiada fueron suelos de muy superficiales a superficiales y gravosos, de baja calidad agrológica con pH moderadamente básico, de textura gruesa a muy gruesa, bajos en materia orgánica, bajos en fósforo y de bajo a medio en potasio, con baja a muy baja capacidad de intercambio catiónico, sujetos a una moderada erosión y lixiviación. Referente a la fertilidad-

capacidad encontró que los suelos estudiados tienen de muy baja a baja fertilidad, con limitaciones químicas por la presencia de carbonatos, problemas de fijación de fósforo y en algunos casos con riesgo de salinidad. Asimismo, en estos suelos que fueron irrigados por inundación durante muchos años, requieren del mejoramiento de los riegos para evitar la erosión a que fueron sujetas y evitándose, además, el lavado de los elementos nutritivos a que estuvieron sometidos estos suelos.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Suelo

El término suelo deriva del latín *solum* que significa piso o terreno. El suelo constituye el conjunto de cuerpos naturales situados en la superficie de la tierra, conteniendo la materia viva y soportando o pudiendo soportar el desarrollo de la vegetación. Los límites superiores del suelo son: (a) la atmósfera, (b) las aguas superficiales poco profundas, es decir, que pueden soportar el crecimiento de las raíces, y (c) las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2,5 m), materiales estériles, rocas o hielo. Su límite inferior es probablemente el más difícil de determinar y está constituido por la roca dura y continua. De manera arbitraria, la profundidad máxima del suelo se establece en dos metros (Jordán, 2005).

Según Porta *et al.* (2003) al ser el suelo un cuerpo natural tridimensional, parte de un ecosistema, su estudio debe iniciarse en el campo con la observación detallada y precisa, tanto del suelo en su conjunto, como del medio en que se halla. Desde el punto de vista cartográfico y atendiendo a las aplicaciones agronómicas, ecológicas y medioambientales, deberán seleccionarse y estudiarse suelos representativos de cada una de las unidades en que sea posible subdividir un determinado paisaje, de acuerdo con la escala del trabajo experimental. Asimismo, los autores agregan que el perfil del suelo es un corte vertical del terreno, que permite estudiar el suelo en conjunto desde la superficie hasta el material originario. Al observar un perfil puede distinguirse capas que se denominan horizontes, dado que su disposición suele ser horizontal. Cada uno de ellos suele tener características y propiedades diferentes en un mismo suelo, de ahí la importancia de su identificación, para

estudiarlos, describirlos y muestrearlos, separadamente. Por otro lado, el suelo queda delimitado en su parte superior por la superficie del terreno, su límite inferior puede resultar más difícil de definir. Teniendo en cuenta que los procesos de formación de los suelos producen modificaciones en sentido vertical, la variación de las propiedades es función de la distancia a la superficie. La profundidad a partir de la cual las características son constantes, con independencia de la distancia a la superficie que presenta ritmicidad de carácter estratigráfico, se define el límite inferior del suelo.

Mengel y Kirkby (2001), explican que el suelo es un material heterogéneo que tiene tres fases, las mismas que tienen influencia sobre el suministro de nutrientes a las raíces de las plantas. Las partículas inorgánicas de la fase sólida contienen cationes, mientras que las partículas orgánicas de esta fase constituyen la principal reserva de nitrógeno y en menor proporción de fósforo y de azufre. La fase líquida del suelo, la solución del suelo es responsable del transporte de nutrientes desde el suelo hacia la planta. La fase gaseosa del suelo interviene en el intercambio gaseoso que se produce entre los numerosos organismos vivos del suelo y la atmósfera. Según Weil y Brady (2010), el suelo es una colección de cuerpos naturales desarrollados en el material mineral y orgánico no consolidado en la superficie del suelo que está en contacto con la atmósfera que sirve como un medio natural para el crecimiento de las plantas superiores y que tiene propiedades debido a los efectos del clima y la materia viva actuando sobre el material parental, condicionado por la temperatura sobre un período de tiempo determinado.

Domínguez (1997) define al suelo como la zona en la cual crecen las raíces y extraen el agua y las sustancias nutritivas que requieren las plantas, además, de servir como sostén durante el ciclo biológico. Las exigencias para el desarrollo del sistema radicular y la importante función que éste desarrolla, hacen que sea absolutamente necesario el conocimiento de las características básicas del suelo para poder analizar, interpretar y dar una solución correcta que plantea el uso y manejo del recurso suelo. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2006), el recurso suelo está conformado por minerales intemperizadas, materia orgánica en descomposición, organismos vegetales y animales diminutos, agua y aire. Es una porción muy delgada de formación muy lenta, que puede durar varios siglos, como consecuencia de la desintegración de las rocas

que se encuentran en la superficie terrestre debido a las variaciones de la temperatura, el efecto del agua y del viento. Las plantas y animales al concluir su ciclo biológico, caen dentro y sobre el suelo e inmediatamente son descompuestos por hongos y bacterias, convirtiéndose en humus que se mezcla con las partículas sólidas del suelo.

Según la FAO (2006), los principales componentes del suelo son:

- **Los minerales** que resultan de la descomposición de los diferentes tipos de rocas por efecto del intemperismo, constituyendo la fase sólida que es la fracción más estable del suelo y, por lo tanto, es la más representativa y ampliamente estudiada. Es una fase muy heterogénea, formada por constituyentes inorgánicos que constituyen el esqueleto o matriz del suelo. La disposición de las partículas del esqueleto permite la existencia de una cantidad variable de poros.
- **La materia orgánica** que resulta de la descomposición de vegetales y animales que han cumplido con su ciclo biológico. Este material tiene la capacidad de almacenar mayor cantidad de agua y está conformada por minerales nutritivos que son aprovechados por las plantas.
- **Los microorganismos** u organismos diminutos están agrupados en: a) los que fraccionan los restos orgánicos (insectos y lombrices), y b) los que liberan a los nutrientes mediante la descomposición (hongos y bacterias). Seres que viven dentro del suelo y hacen posible que la materia orgánica recicle los nutrientes que serán nuevamente absorbidas por los vegetales, favoreciendo pulverización de las rocas. Los poros son formados por las lombrices e insectos que construyen los poros por donde circula el aire, se almacena el agua y permite el crecimiento radicular.
- **El agua y aire** se encuentran en los poros que son espacios libres entre los agregados del suelo, adoptando formas y tamaños debido a las irregularidades. La presencia y magnitud de los poros tienen mucha importancia. Cuando hay una excesiva cantidad de poros pequeños produce suelos compactos, difíciles de trabajar, con exceso de humedad y produciendo un escaso crecimiento de las raíces. Poros de mayor tamaño originan suelos muy sueltos y secos, rápidamente. Si los

poros son muy pequeños, la planta tendrá mayor dificultad para abastecerse de agua que requiere para su desarrollo.

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, llegando 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, 2006).

Plaster (2000) explica de manera general, que el recurso suelo cumple una función importante en el reciclaje de elementos necesarios para el crecimiento de la planta. En otras palabras, una planta depende del suelo para conseguir suplir cuatro necesidades de la siguiente manera:

- **Anclaje.** Las raíces crecen libremente y requieren de un suelo profundo para estar sujetas firmemente o estar anclada para crecer y desarrollarse firmemente hasta alcanzar la luz del sol.
- **Agua.** Las raíces son cuerpos absorbentes de agua para la planta y el suelo que es un gran almacén de agua, le proporciona lo que requiere. Por cada kilogramo de materia seca que produce un vegetal. Para que la fotosíntesis ocurra normalmente, se requiere entre 200 a 1 000 litros de agua, incluyéndose el flujo de la savia y otros usos. En la actividad agrícola es de suma importancia la capacidad de captación de agua de un suelo por parte de la planta.
- **Oxígeno.** Con excepción de algunos seres microscópicos, los componentes tanto de la fauna como de la flora que viven en el suelo requieren de oxígeno. Las plantas dejan libre al oxígeno al producirse la fotosíntesis, pero requieren de este elemento durante el proceso de respiración. Las partes de la planta que están por encima de

la tierra, suspendidas en una atmósfera que es en un 21 % de oxígeno, tiene todo el oxígeno que necesitan. Bajo tierra, las raíces de la planta y organismo que viven en el suelo usan el oxígeno y desprenden dióxido de carbono. Como resultado el aire del suelo tiene menos oxígeno y más dióxido de carbono que la atmósfera.

- **Nutrientes.** Los elementos nutritivos que son considerados esenciales para la mayoría de las plantas son aproximadamente 16, de las cuales 13 provienen del suelo. El carbono, oxígeno e hidrógeno están en el aire y en el agua; los demás están almacenado en el suelo. Las hojas son capaces de absorber algunos nutrientes, pero las raíces pueden absorber casi todos. Los pelos absorbentes toman los nutrientes que están disueltos en la llamada solución del suelo y los ponen disponibles para las plantas, por medio de un proceso muy activo que pone a los nutrientes cerca las células radicales. La energía requerida para este proceso produce en el momento de la respiración en las raíces.

En el recurso suelo se multiplican miles de formas de vida, la mayoría invisibles para el ojo humano. 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. Todas las sustancias que forman el suelo son importantes por sí mismas, pero lo fundamental es el equilibrio adecuado entre los diferentes constituyentes (FAO, 2006). 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. El manejo sostenible del suelo debe estimular la actividad de los microorganismos, manteniendo o aportando una cantidad adecuada de materia orgánica (FAO, 2006).

1.2.2. Calidad física del suelo

Una buena calidad física del suelo determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además, del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el

crecimiento de las plantas (Taboada y Álvarez, 2008, citado por Rojas, 2013). El hombre a través del manejo agrícola o ganadero modifica la calidad física del suelo. La declinación de la calidad física tiene consecuencias graves en las condiciones químicas y biológicas (Dexter y Birkas, 2004, citado por Rojas, 2013). Las determinaciones físicas pueden ser observaciones sencillas basadas en la experiencia de reconocedores de perfiles de suelo, o requerir instrumental de diverso grado de precisión.

Con referencia a la fertilidad física del suelo, Plaster (2000) agrega que es un tema poco abordado a pesar de que desde 1970 se han producido grandes avances en el estudio de la respuesta del sistema radicular frente al suelo como medio físico y en el comportamiento del suelo por efecto de la agromecánica. Existe una razón que justifica en parte este distinto tratamiento, la dificultad que sigue existiendo tanto para evaluar la fertilidad física, como para establecer las posibilidades de las medidas correctoras que, en muchos casos, resultan mucho menos evidente. Los métodos para determinar propiedades físicas del suelo, actualmente se encuentran en un menor grado de estandarización de las propiedades químicas y son menos conocidos. Una de las medidas más comunes para conocer el estado físico de un suelo es la densidad aparente que junto con la profundidad permitirá conocer el espacio poroso que tiene el recurso edáfico.

Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo expresada en términos de peso por unidad de volumen (g.cm^{-3} o t.m^{-3}). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Hakanssona, 2010, citado por Rojas, 2013). 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; también puede variar estacionalmente por efecto de las labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandibles (Taboada y Álvarez, 2008, citado por Rojas, 2013).

El método más utilizado para realizar esta determinación es el método del cilindro. Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro, es que el valor puede variar con el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro. En general, el método presenta poca variación, es fácil de repetir y su determinación es sencilla. Hay otros métodos que no requieren instrumental complejo para estimar la densidad aparente. Cuando no se cuenta con la posibilidad de obtener la muestra inalterada en el campo, como es el caso de exceso de piedras, se puede utilizar el método de la probeta, que usa la muestra tamizada, o también el método de la parafina que considera muestras inalteradas tomadas con una pala sin usar el cilindro (Taboada y Álvarez, 2008, citado por Rojas, 2013).

Profundidad

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2016) explica que al *solum* se le consideraba como el horizonte superficial del suelo, también conocido como horizonte A, junto con los horizontes subterráneos E y B, mientras que el horizonte C era considerado como la capa subterránea menos descompuesta y con una ligera formación edafogénica. En consecuencia, la profundidad efectiva del suelo era considerada como el espesor del suelo constituido por el horizonte A más el E y B. Sin embargo, las raíces y la acción de los microorganismos y animales que viven dentro del suelo también se producen en el horizonte C, realzando la importancia de considerar a este horizonte dentro de la profundidad del suelo. Sin embargo, en los estudios de levantamiento de suelos se consideran definiciones arbitrarias sobre la profundidad arbitrarios (2,00 m).

Suelos menos profundos de 50 cm antes de encontrar la roca dura o una capa dura que restringe la penetración de las raíces, tienen muchas limitaciones para el crecimiento de las plantas. Estos suelos no son capaces de tomar ventajas de los atributos positivos de un enraizamiento profundo, tal como el reservorio gran de agua disponible y la habilidad de reciclar nutrientes lavados de la capa superficial. Los suelos con poca profundidad y asociados con pendientes pronunciadas resultan verdaderamente frágiles debido a que estarán sujetos a una considerable erosión (Sánchez *et al.*, 2003).

Carbonatos

El carbonato de calcio (CaCO_3) es una sal poco soluble que se encuentra naturalmente en varias formas y en varios grados de concentración en el suelo. Su presencia juega un papel fundamental en la estructura del suelo si se encuentra en concentraciones moderadas. Se utiliza como enmienda para neutralizar el pH de suelos ácidos y para suministrar el nivel de calcio (Ca) para la nutrición de las plantas (Sys *et al.*, 1991). Sin embargo, puede resultar problemático si su concentración llega a exceder la capacidad de adsorción en el suelo formando complejos insolubles con otros elementos, que no son aprovechables. Estos componentes son difíciles de asimilar por las plantas llevando a su acumulación. Cantidades excesivas de calcio puede por ello restringir la disponibilidad de fósforo, boro y hierro para las plantas (FAO, 2016).

Fassbender y Bornemisza (1994), con respecto a los carbonatos agregan los siguientes conceptos:

- El carbonato de calcio (CaCO_3) es el más común en los suelos y se le llama calcita en su forma bien cristalizada. En estos suelos poco desarrollados se le puede encontrar a veces en el horizonte A. Es poco estable y según su contenido, el tamaño de sus partículas, el régimen hídrico y biológico del suelo, es lavado y acumulado en el horizonte parental Ck. En suelos de áreas tropicales húmedas es muy raro encontrar calcita, a menos que provengan de calizas.
- La magnesita (MgCO_3) se encuentra muy raramente en suelos superficiales dada a su alta solubilidad y poca resistencia a la meteorización.
- La dolomita [CaMgCO_3]₂ es componente primario de muchas calizas dolomíticas que no han sufrido meteorización, sin embargo, puede tener carácter secundario. Su disolución libera Ca y Mg y se le utiliza para el encalado.
- La siderita (FeCO_3) se forma bajo condiciones reductantes y son poco comunes.

La presencia de carbonatos libres en el suelo no solo tiene un efecto sobre el arreglo y disposición estructural de la masa del suelo, interfiriendo así directamente sobre el

porcentaje de infiltración del agua y los procesos de evaporación, sino también tiene un rol importante en la reacción del suelo y en la constitución fisicoquímica del solum como un todo. El contenido de carbonato de calcio tiene influencia asimismo en la relación suelo-agua y en la asimilación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. El contenido moderado de carbonato de calcio tiene un efecto favorable sobre la capacidad del suelo para la irrigación (Sys *et al.*, 1991).

Porosidad

El espacio poroso o porosidad del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos y puede conocerse mediante la densidad aparente y la densidad real; mediante la ecuación:

$$\%P = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad de partícula}}\right) 100$$

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir dos tipos de poros, macroporos ($> 250 \mu\text{m}$) y microporos ($< 250 \mu\text{m}$) donde el agua, los nutrientes, el aire y los gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, por tanto, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se desarrollan las raíces; los microporos en cambio retienen agua parte de la cual es disponible para las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015)

Los poros que están ocupados por el agua son denominados microporos o microporosidad al conjunto. Por lo contrario, el espacio restante que correspondería al aire estaría formado por los macroporos y el conjunto sería la macroporosidad. La suma de estas porosidades parciales sería la porosidad total del suelo. Una porosidad total del orden del 40 a 50 % es satisfactoria para el desarrollo vegetal, lo que equivale aproximadamente a una densidad aparente intermedia de 1,3 a 1,4 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Por lo tanto, la estructura del suelo resulta decisiva para la permeabilidad del suelo al aire y al agua, para facilitar la penetración y desarrollo de las raíces y para la capacidad de retención del agua a disponible para las plantas (Domínguez, 1997).

1.2.3. Granulometría del suelo

Sánchez (2013) considera que la granulometría es la distribución de las partículas de un suelo, las mismas que tienen diferentes tamaños agrupados de acuerdo a sus tamaños y expresados porcentajes, de acuerdo con el peso total de la muestra de suelo seco. Esta característica sirve como una medida en la clasificación de los materiales que están presentes en el suelo. La determinación de la granulometría del suelo se hace mediante el análisis de tamices (norma ASTM C 136), mientras que el tamaño de los agregados se obtiene mediante tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Para los agregados finos 7 mallas (ASTM C 33) que tienen aberturas que varían desde 150 micras (malla N° 100) hasta 9,52 mm, en tanto para los agregados gruesos los porcentajes son calculados mediante el peso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

Textura

Jordán (2005), explica que la textura se refiere a la composición de la fracción inorgánica de los suelos expresada en volumen. La determinación de la composición granulométrica de los suelos es de suma importancia para cualquier estudio, tanto desde un punto de la clasificación genética o técnica. Algunas características de las partículas minerales del suelo están relacionadas por su tamaño. Por lo tanto, existen varios tipos de clasificaciones que son utilizadas actualmente, aunque se aceptan de manera general las denominaciones de gravas, arena, limo y arcilla, estas difieren ligeramente en los límites establecidos para cada clase. Jordán (2005) agrega que tanto la superficie interna como el número y tamaño de los poros son afectados por el tamaño de las partículas del suelo, cuanto menor es el tamaño de la partícula, mayor será la superficie interna del suelo, del mismo modo, la superficie total de las partículas del suelo será mayor. Asimismo, el menor tamaño de la partícula produce una disminución en el tamaño de los poros del suelo, originándose suelos con poros más escasos y pequeños.

La textura es definida como la distribución de partículas individuales del suelo conocidas como arenas, limos y arcillas y que son expresadas en porcentajes (Huerta, 2010). Las arenas tienen un tamaño que varía de 0,05 a 2 mm, los tamaños de los limos están entre 0,002 y 0,05 mm y las arcillas tienen un tamaño menor de 0,002 mm. El suelo con mayor proporción

de arena es conocido como suelo de textura gruesa o suelo grueso, mientras que un suelo con mayor porcentaje de arcillas es denominado como un suelo de textura fina o un suelo fino. Cuando un suelo tiene una textura franca, debe tener contenido 40 % de arenas, 40 % de limos y 20 % de arcillas, considerado como un suelo ideal para el desarrollo normal de las plantas. Por lo tanto, la textura del suelo es la proporción de diferentes componentes inorgánicos que tienen diferentes formas y tamaños conocidos como arena, limo y arcilla. Entonces, la textura es una propiedad de mucha importancia porque importante porque se comporta como factor de fertilidad con capacidad para retener agua y el aire, necesarios para el desarrollo de los vegetales. También determina el tipo de drenaje en relación con el contenido de materia orgánica y de otras propiedades. Para determinar las clases texturales se utiliza el triángulo textural sugerido por la FAO (2016). Las partículas del suelo que superan los dos mm de tamaño son definidas como gravas y piedras materiales que pueden incluirse en la clase de textura como modificadores texturales.

Domínguez (1997), considera a la textura como una de las características del suelo de mayor importancia que en ciento grados afecta la actividad físico-química del mismo. La clasificación de un suelo de acuerdo al tamaño de las partículas tiene una relación muy estrecha con relación a la superficie activa de estas partículas, ya que, al disminuir el tamaño de las partículas, la superficie específica total de las mismas tendrá un aumento significativo. Es así como la superficie activa de la arcilla coloidal es 100 000 veces superior que en la grava y mil veces si se compara con la arena fina. La relación sería mayor si en lugar de partículas esféricas, que son de mayor superficie, se comparan cualquier otro tipo de formas, como las laminares, lenticulares, trapezoidales, que serían más acordes con la realidad.

Estructura

Domínguez (1997), asume que otra de las características básicas de los suelos es su estructura, que viene determinada por la forma en que se unen las partículas minerales para constituir agregados, así como por el ordenamiento o disposición de éstos entre sí. La integración de agregados en unidades superiores da lugar a la formación de terrones, los cuales pueden ser clasificados por la forma general y por el grado de estabilidad de los mismos. En la formación de los terrones o agregados, tienen una importancia considerable

las partículas coloidales, tanto minerales (arcillas e hidróxidos) como orgánicas (humus), que actúan como elementos de unión o cemento entre las partículas de mayor tamaño.

Donahue *et al.* (1998), agregan que la estructura del suelo es la forma como las partículas de arena, limo y arcilla están agrupados en un conjunto estable. Se dice que un suelo tiene buena estructura cuando la disposición de sus partículas permite la creación de condiciones apropiadas para el desarrollo vegetal, en especial aquellos relacionados con la porosidad, cohesión y permeabilidad, propiedades que constituyen criterios de evolución de la condición estructural de un suelo. La estructura del suelo es el resultado de como las fracciones texturales arena, limo y arcilla se juntan, conformando de esta manera los agregados o terrones del suelo, afectando en forma directa a la aireación y al movimiento del agua en el suelo, así como también al crecimiento de las raíces y dando resistencia suelo contra la erosión. Los agregados pueden ser de varias formas (granos, bloques, prismáticos, columnares o laminares) y tamaños, así como diferente grado de estabilidad. Agregados estables entre dos y cinco mm están asociados con una mejor calidad del suelo (United States Department of Agriculture [USDA], 2008).

1.2.4. El agua

El agua que es esencial para la vida también es un componente muy dinámico en el suelo, donde de acuerdo a la cantidad y al tiempo de su permanencia, puede ser benéfica o actuar negativamente en relación al crecimiento de las plantas. Cuando hay exceso de agua se pierden los nutrientes por lavaje, cuando la evaporación es alta y el agua es escasa hay acumulación de sales disueltas en la capa superficial en concentraciones dañinas para las plantas. El agua interviene en el suelo, desde los orígenes de su formación y en su desarrollo (Zavaleta, 1992). La FAO (2006), señala que el agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso. La mayor reserva de agua está en los océanos, que contienen el 97 % del agua que existe en la Tierra. Se trata de agua salada, que sólo permite la vida de la flora y fauna marina. El resto es agua dulce, pero no toda está disponible: gran parte permanece siempre helada, formando los casquetes polares y los glaciales. Una cuenca abarca todo el territorio cuyas aguas confluyen hacia un río, lago o mar. Dentro de una misma cuenca, pueden existir climas (temperatura, insolación y humedad) diferentes según la altitud del terreno, también influye

en el clima la orientación de las laderas. Estas variaciones originan distintos pisos de vegetación. Dentro del cauce de los ríos, el agua circula desde las regiones más altas hacia las más bajas. En las zonas en pendiente, el agua fluye con mayor velocidad y fuerza, por esta razón, aumenta la erosión de las riberas, especialmente cuando no están protegidas por vegetación. Al acercarse a la desembocadura, disminuye la velocidad y aumenta el caudal y la sedimentación del suelo arrastrado.

Los lagos son grandes masas de agua que permanecen estacionadas en una depresión del terreno, generalmente tienen un sistema de ríos o glaciares que los alimentan. La mayoría vierte el exceso de agua a través de otros ríos, pero existen otros lagos, como el Titicaca, situado entre Bolivia y Perú, que pertenece a una cuenca cerrada. Según la profundidad, en el interior de un lago existen variaciones en la temperatura del agua y en la cantidad de luz solar que llega. Estas variaciones condicionan las posibilidades de vida de las diversas especies vegetales y animales. En cada profundidad, sólo se encuentran las especies que han logrado modificarse para adaptarse a ella (FAO, 2006).

1. Fase líquida del suelo

Ortiz y Ortiz (1990), reportan que la fase líquida del suelo está constituida por el agua y la solución del suelo. Sin agua no es posible el desarrollo de las plantas. Por otra parte, el fenómeno de desintegración y descomposición química no se manifiestan sino en presencia del agua líquida. La importancia del agua, tanto en lo que se refiere a su papel como agente formador del suelo, como en la productividad del mismo, resalta de inmediato. El agua es uno de los componentes más variables en el suelo, por lo tanto, los diferentes suelos tienen distintas capacidades para retener el agua que las plantas requieren. Cuando abundante agua está presente en el suelo no se drena, las raíces de plantas pueden morir debido a la carencia de oxígeno. Si muy poca agua está presente, el crecimiento de las plantas se retiene y finalmente sobreviene el marchitamiento.

2. Retención del agua en el suelo

Los suelos tienen cargas negativas y positivas. La fuerza de atracción de la superficie de las partículas secas del suelo por las moléculas polares de agua se denomina adhesión. La

adsorción del agua por una película formada por varias moléculas de agua sobre las partículas sólidas se denomina agua de adhesión y produce una reducción en el movimiento de las moléculas de agua, reducción en la energía del agua y la liberación de calor asociados entre sí, formando una transformación del agua a un nivel de energía más bajo. El agua de adhesión no está disponible para las plantas y solo se remueve secando el suelo a la estufa; esta clase de agua es considerada como agua higroscópica. Más allá de la esfera de atracción de las partículas sólidas, las moléculas de agua se atraen entre sí, formando una película líquida continua alrededor de las partículas y en los microporos debido a la tensión superficial y se denomina agua de cohesión. El agua de los microporos y aproximadamente dos tercios externos de la película de agua de cohesión puede ser considerada como agua disponible para las plantas y se llama agua capilar (Zavaleta, 1992).

3. Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo está influenciado por la gravedad, la acción capilar y por los gradientes de temperatura. La influencia de la gravedad es operante cuando el agua es abundante y los poros del suelo están casi todos ocupados por la fase líquida. Se dice entonces que el suelo está saturado y el movimiento del agua se denomina de flujo saturado, aunque permanezcan bolsas de aire en el suelo. El movimiento del agua en respuesta a un gradiente de temperatura requiere de un flujo de aire continuo. El agua en el suelo se evapora de las partes más calientes, pasa a través de los poros y se condensa en las partes más frías, este proceso se denomina transporte de vapor y es un proceso lento de movilidad del agua, pero puede ocurrir en suelos secos propiciándose un movimiento rápido. El movimiento capilar del agua ocurre en respuesta a un gradiente de tensión. La tensión resulta de la atracción de las moléculas de agua a la superficie de las partículas del suelo (adhesión) y entre una y otra (cohesión). La fuerza considerada se denomina tensión de la humedad del suelo (Ortiz y Ortiz, 1990).

1.2.5. El agua en el suelo

Según Domingo *et al.* (2006) la función de absorber, retener y suministrar agua es una de las misiones ecológicas fundamentales que desempeña el suelo. La cantidad de agua que la reserva del suelo es capaz de suministrar a la vegetación limita la existencia y productividad de las especies, siendo las propiedades hídricas del suelo componentes fundamentales para

el crecimiento y desarrollo de las plantas. Ortiz y Ortiz (1990) agregan que el agua es uno de los componentes más variables en el suelo. Los diferentes suelos tienen distintas capacidades para la retención del agua.

Porta *et al.* (2003), explican que el agua del suelo forma parte del ciclo hidrológico que se considera integrado por un conjunto de compartimentos. El suelo constituye uno de ellos y es el proveedor del que requieren las plantas, por tener la capacidad de almacenar y ceder a medida que se requiere. En el estudio del agua del suelo interesan los aspectos que van desde cómo llega el agua al suelo a los procesos de transferencia en el sistema suelo-planta-atmósfera. Por lo tanto, el crecimiento de las plantas requiere agua en primer lugar para el proceso de fotosíntesis. La conservación del equilibrio térmico y del proceso respiratorio conlleva un gasto del agua en forma continua, como consecuencia de que la transpiración es un proceso que implica pérdida de agua. Las raíces de las plantas, en general, toman el agua de la zona menos saturada, porque para respirar necesitan un suficiente suministro de aire. Las comunidades vegetales hidrófilas son aquellas que están adaptadas para poder vivir en condiciones con elevados contenidos de agua, en algunos casos pueden extraerla incluso de la capa freática, donde todos los poros están llenos de agua.

Si al llegar sobre la superficie de un suelo seco cinco cm de agua, ya sea mediante la lluvia o por la aplicación de un riego en un período de 24 horas, el agua penetrará alrededor de unos 30 cm en un suelo franco. Inmediatamente después de cesar la adición de agua al suelo, los 30 cm del suelo superficial contienen agua que pronto será drenada y aprovechable para el desarrollo de las plantas y otra porción será retenida en forma persistente. Estos diferentes tipos de agua se denominan agua gravitacional, aprovechable y no aprovechable y al ser removida una parte del agua del suelo el resto es retenido con mayor fuerza (Ortiz y Ortiz, 1990).

1.2.6. Abastecimiento de agua

La disponibilidad del agua es uno de los principales factores de la producción, sea ésta, agrícola, ganadera o forestal. Toda la costa y parte de la sierra tienen un déficit de humedad debido al clima que varía de árido a semiárido, por esta razón la designación del uso del

recurso suelo tiene que adaptarse también al grado de tolerancia de las plantas a las diferentes condiciones hídricas. Si el agua de lluvia no es suficiente para los cultivos, el suelo debe regarse si se dispone de agua para obtenerse altos rendimientos. El agua es utilizada en la reacción de fotosíntesis para la formación de los azúcares. El agua en forma molecular entra en varias reacciones metabólicas dentro de la planta y constituye alrededor de las tres cuartas partes o más del peso de las plantas vivientes (Bullón, 1990).

El agua que se mueve en forma líquida de las zonas de baja a alta tensión contiene nutrientes disueltos y es evidente que cuando las raíces absorben agua, hay movimiento de los elementos nutritivos a la zona inmediata de las raíces. Las películas continuas de agua en el suelo son importantes por el movimiento de los nutrientes a la superficie de las raíces. Los nutrientes que entran en solución ya sea de los fertilizantes o de los minerales del suelo o de la materia orgánica, se moverán de zonas de alta concentración a zonas de baja concentración, esta clase de movimiento se llama difusión. Este método de transporte de nutrientes es más lento que el producido por el agua. Sin embargo, la difusión es operante continuamente, mientras que el movimiento del agua es esporádico. De tal modo que la importancia relativa de estos dos movimientos de nutrientes en el suelo dependerá de varios factores incluyendo el agua del suelo, la proporción de la extensión de las raíces y el método de aplicación y localización de los fertilizantes (Ortiz y Ortiz, 1990).

Independientemente del sistema de riego que se aplique, ha de tenerse en cuenta que las buenas prácticas de riego no consisten meramente en derramar agua sobre los terrenos, sino en aplicar la cantidad necesaria, ni menos ni más. El agua insuficiente causa la muerte de la vegetación y el exceso arrastra los elementos nutritivos de las plantas desde la superficie del suelo. La saturación del terreno con las aguas de riego produce iguales efectos que lanzar los alimentos solubles de las plantas por los canales de desagüe. Las pérdidas de alimentos vegetales solubles causadas por ciertas plantas como el maíz, la avena, el trigo y el trébol, así como el arrastre de las aguas, consumirían en promedio 115 kg de cal al año. Sin embargo, las lluvias fuertes o riegos excesivos pueden arrastrar hasta 1 250 kg, “diez veces más”. Entonces, el riego excesivo es perjudicial y debe evitarse regulando la cantidad de agua para los cultivos (Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América, 1980)

1.2.7. Manejo del agua de riego

El riego tiene por objetivo suministrar la humedad necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo el transporte de los nutrientes, y de diluir y, en algunos casos, lixiviar las sales existentes en el suelo. Asimismo, el riego produce efectos beneficiosos para crear un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas al hacer bajar la temperatura del suelo y del ambiente en verano e impedir, o al menos atenuar, la baja de la temperatura hasta niveles críticos para las plantas cuando existen problemas de heladas en invierno. El riego se define como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales, la humedad necesaria para su desarrollo en la medida que no sea aportada por las lluvias, satisfaciendo la demanda con alta eficiencia en el uso del agua. Implica la regularización de la humedad del suelo mediante la aplicación de agua al suelo, en la zona de mayor actividad de extracción hídrica ocupada por las raíces (Génova, 2002).

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (1980) sostiene que al seleccionar el sistema de riego mejor para un fundo o predio el agricultor no debe concretarse a una forma o práctica generalizada ni adoptar un sistema por el solo hecho de que otros lo empleen dentro de la comunidad. Debe tenerse en cuenta el grado de pendiente, así como la capacidad del suelo para absorber y retener el agua; debe conocerse, asimismo, el alcance de las raíces de las plantas y la cantidad de agua que éstas necesitan. El criterio práctico del agricultor es la mejor guía para que seleccione el sistema de riego más adecuado al campo, aunque los científicos han diseñado tres sistemas de riego de fácil aplicación: a) el sistema de riego por infiltración o por surcos, b) el riego por escurrimiento o desbordamiento, y c) el riego por inundación. La selección del tipo de riego depende de la clase de terreno y su configuración y de la clase de cultivo que se desee emprender.

Israelsen y Hansen (1979), sostienen que la presión demográfica y las necesidades de cantidades adicionales de alimento, imponen el desarrollo rápido del regadío en todo el mundo, que, si bien reviste capital interés para las regiones áridas, desempeña un papel cada vez más importante en las regiones húmedas. Estas aseveraciones se han cumplido, la superficie bajo riego en el mundo creció más del 30 % en los últimos 50 años. Tal como señala Sawchik (2000), el uso de la tecnología del riego implica el conocimiento de algunos

parámetros básicos del suelo y del cultivo que son fundamentales para lograr un uso eficiente del agua aplicada. Por lo tanto, se hace necesario revisar algunos conceptos básicos sobre estos parámetros y la forma como estimarlos o calcularlos con las herramientas que se tienen disponibles. El conocimiento de estos parámetros es de utilidad para el manejo de cultivos bajo secano o riego indistintamente. Además, se debe tener en cuenta que el suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está compuesta por partículas minerales y por materia orgánica.

El espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, estos espacios están normalmente ocupados por agua y aire en proporciones variables según el contenido de humedad del suelo. El contenido de agua de un suelo afecta directamente el crecimiento de las plantas, pero además otras propiedades como la consistencia, plasticidad, compactación y resistencia a la penetración, entre otras (Sawchik, 2000).

Silva *et al.* (1988), expresan que los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el manejo del riego son los siguientes:

Humedad en base a peso

Expresa el contenido de agua en base a peso expresada como porcentaje. Esta humedad es determinada relacionando el peso del suelo húmedo y el peso del suelo secado a la estufa.

Humedad en base a volumen

Es otra forma de expresar el contenido de agua y para ello se debe conocer la densidad aparente que es el cociente entre el peso seco de la muestra de suelo y su volumen. Como en la práctica la lámina de riego, la precipitación y la evapotranspiración son dadas en mm, es conveniente el uso de esta misma unidad para expresar el contenido de agua de un suelo. Para ello se utiliza la siguiente relación: un mm de agua es igual a la humedad expresada en peso multiplicada por la densidad aparente, luego este producto debe ser multiplicado por la profundidad y dividido por 10. Siendo en este caso la profundidad, el espesor o profundidad del horizonte de suelo considerado a humedecerse (Israelsen y Hansen, 1979).

Según Israelsen y Hansen (1979), el agua almacenada en los suelos agrícolas está bajo las siguientes condiciones:

1. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente (PMP) es el límite inferior de disponibilidad de agua en el suelo y también puede determinarse con métodos de laboratorio similares a la capacidad de campo (CC), o mediante ecuaciones que utilizan otras propiedades del suelo. Es el agua retenida con una tensión aproximada de 15 atmósferas (Ortiz y Ortiz, 1990). Su valor depende del tipo de suelo y es el límite de tensión hasta el cual una planta, adaptada a condiciones medias de humedad, puede extraer agua (Israelsen y Hansen, 1979). Porta *et al.* (2003), agregan que el punto de marchitez permanente se define como el contenido de agua por debajo del cual las plantas no son capaces de extraer agua del suelo. Viene a corresponder al límite inferior del agua retenida por las fuerzas capilares absorbible por las raíces. Se estima como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo equilibrada con una presión de 1 500 milibares.

2. Capacidad de campo

La capacidad de campo (CC) se define como el contenido de agua de un suelo inicialmente saturado luego de que el agua gravitacional haya sido evacuada (drenada). Este parámetro puede determinarse en el laboratorio o en el campo por el método de humedecimiento natural o inferirse a través de otras propiedades del suelo como la granulometría y la materia orgánica (Israelsen y Hansen, 1979).

Silva *et al.* (1988) agregan que la capacidad de campo es la cantidad de agua máxima que el suelo puede retener, medida a las 48 horas después de una lluvia o riego, en esta condición el agua es retenida a una tensión de 0,1 a 0,33 bar. Ortiz y Ortiz (1990), dicen que la capacidad de campo puede determinarse fácilmente en un suelo de buen drenaje. Después de una lluvia o riego pesado, se cubre la superficie del suelo para reducir las pérdidas por evaporación y se dejan pasar dos a tres días para permitir un drenaje libre. Después de este tiempo la humedad del suelo está a la capacidad de campo, siendo retenida aproximadamente a 1/3 de atmósfera.

3. Agua disponible

Según United States Department of Agriculture [USDA] (1955), citado por Ortiz y Ortiz (1990), el agua disponible también es denominada “agua aprovechable” y representa la humedad del suelo entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo. La cantidad de agua por aplicar a un suelo al punto de marchitamiento para alcanzar la capacidad de campo se llama “capacidad de agua aprovechable o disponible”. Esta capacidad varía en primer lugar con la textura del suelo, tal como se expresa en Tabla 2.

Tabla 2

Punto de marchitez, capacidad de campo y capacidad de agua aprovechable

Textura del suelo	Punto de marchitez (%)	Capacidad de campo (%)	Capacidad de agua aprovechable (%)
Arena media	1,7	6,8	5,1
Arena fina	2,3	8,5	6,2
Franco. Arenoso	3,4	11,3	7,9
Franco Arenosos fino	4,5	14,7	10,2
Franco	6,8	18,1	11,3
Franco limoso	7,9	19,8	11,9
Franco arcilloso	10,2	21,5	11,3
Arcilla	14,7	22,6	7,9

Fuente: United State Department of Agriculture (1955), citado por Ortiz y Ortiz (1990).

Porta *et al.* (2003) especifican que la capacidad de campo es un concepto útil en determinadas aplicaciones del agua como por ejemplo en los riegos por gravedad, definiéndola como la capacidad de retención de agua disponible para las plantas. En general, el agua que está contenida en el suelo no está disponible en su totalidad para las plantas. Israelsen y Hansen (1979), agregan que el agua disponible (AD) es fácilmente calculado con los valores presentados en la Tabla 3 o utilizando las ecuaciones tanto para medir la capacidad de campo como para el punto de marchitez permanente: $AD = CC - PMP$, expresada en mm para la profundidad de suelo deseada.

Tabla 3

Valores promedio y rangos de CC, PMP y AD (expresados en peso)

Textura del suelo	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez permanente (PMP)	Agua disponible (AD)
Arenoso	9 (6 -12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)
Franco	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	12 (10 – 14)
Franco arcilloso	27 (23 – 31)	14 (12 – 16)	13 (11 – 15)
Arcilloso	36 (31 – 39)	18 (16 – 20)	18

Fuente: Israelsen y Hansen (1979).

1.2.8. Demanda de agua por los cultivos

La evapotranspiración de un cultivo es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, e incluye los términos evaporación desde el suelo o la planta y transpiración desde la planta. Asimismo, está influenciada por diversos factores climáticos como la radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y factores de cultivo como tipo y estado fenológico de la planta cultivada. Se puede caracterizar la demanda de la atmósfera con el término ETo (Evapotranspiración del cultivo de referencia). Existen métodos para medir directa e indirectamente esta propiedad. El Método de Penman, y el del Tanque clase A son los más comunes. La evapotranspiración del cultivo (Etc) se calcula con la siguiente relación: $Etc = Eto * Kc$. Definiendo el Kc como el coeficiente del cultivo. Este varía con el desarrollo de la planta, pero también depende de una alta o baja disponibilidad de agua en el suelo. Existen varias fuentes para tomar los datos de Kc de los cultivos. Los más utilizados son los publicados por FAO, aunque otros trabajos tratan de obtener los valores más apropiados para nuestras condiciones (Agorio *et al*, 1988, citado por Sawchik, 2000).

Agorio *et al*. (1988), citado por Sawchik (2000), tomando como ejemplo el cultivo de maíz, definen cuatro fases:

- a) **Inicial:** Desde la siembra hasta un 10 % de cobertura por el cultivo donde se asume un valor de 0,4.

- b) **Intermedio:** Se computa hasta que el cultivo cubre completamente el suelo hasta el máximo en forma ascendente de 0,4 a 1,1.
- c) **Máximo:** El máximo se toma entre 1,1 y 1,2 y ocurre en el período de máxima demanda del cultivo alrededor de floración.
- d) **Final:** En general es la etapa donde ya no se realizan riegos y toma un valor entre 0,55 y 0,6.

Con estos valores puede estimarse el Kc diario y también con los ETo diarios, se obtendrán los valores de la evapotranspiración del cultivo: ETc.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación fue no experimental de tipo exploratoria y preliminar ya que se trató de determinar cómo la textura del suelo, el contenido de materia orgánica y la relación de otras propiedades del suelo (pH, salinidad, carbonatos, fósforo y potasio disponibles) tienen efecto sobre el contenido de agua disponible de suelos del transecto Huaura-Mazo. Los datos obtenidos fueron analizados sin alteración alguna, en concordancia con lo señalado por Hernández *et al.* (2010) con referencia a la investigación no experimental.

2.1.1. Lugar y fecha

El presente estudio se ejecutó en ocho puntos de muestreo distribuidos en el transecto Huaura – Mazo, los mismos que en la actualidad están siendo cultivados con diferentes especies, tanto anuales (maíz, camote y en descanso) como permanentes (Caña de azúcar). Huaura es una de las once provincias que conforman el Departamento de Lima, bajo la administración del Gobierno Regional de Lima, en la zona centro-occidental de Perú. Limita por el norte con la Provincia de Barranca y el Departamento de Ancash; por el este con las Provincias de Cajatambo y Oyón, y el Departamento de Pasco; por el sur con la Provincia de Huaral; y, por el oeste con el Océano Pacífico. La provincia de Huaura geográficamente está ubicada entre los 8°04'22" de Latitud Sur y 68°82'25" Longitud Oeste a una altitud de 19 m.s.n.m. Huaura, es una ciudad situada a 150 km al norte de Lima, Perú.

La principal actividad productiva en el valle es la agricultura y todas las tierras agrícolas son irrigadas por el río Huaura. De los 7 357 productores de la zona, 57 % se dedican a dicha actividad productiva, mientras que el 43 % realiza al menos una práctica pecuaria. Los distritos de Huacho, Carquín, Hualmay y Végueta, distrito donde se ubica el caserío de

Mazo, congregan al 11 % de los productores del valle, mientras que Santa María registra la mayor concentración con el 33 %. Los cultivos más importantes por su contribución al valor bruto de la producción agrícola del valle son: “caña de azúcar” (*Saccharum officinarum* L.), “naranja” (*Citrus sinensis* L.), “espárrago” (*Asparagus officinalis* L.), “alfalfa” (*Medicago sativa* L.), “tomate” (*Solanum lycopersicum* L.) y “maíz amarillo” (*Zea mays* L.). Este trabajo de investigación se inició en el mes mayo y culminó en el mes de noviembre del año 2018.

2.1.2. Materiales

Durante la ejecución de la investigación se utilizaron diversos materiales, los cuales son agrupados de la siguiente manera:

Materiales de campo

- Libreta de campo,
- Lápices, lapiceros, plumones indelebles de color negro y punta fina y gruesa y borrador.
- Etiquetas de cartulina, cinta masking.
- Tablero de mano, mapa base del fundo “La Albufera”.
- Bolsas de polietileno de 1 kg de capacidad.
- Guantes de cuero.
- Reglas de madera de 1,2 m de longitud.
- Tabla de colores Munsell.
- Cámara fotográfica, GPS. Eclímetro.
- Herramientas: cinta métrica, pico, pala, barretilla).

Materiales de laboratorio

a. En el laboratorio de la FIAH-UCSS:

- Muestras de suelos, tamiz de 2 mm de diámetro, balanza de 0,01 de aproximación, estufa, mufla, rodillo de madera, bandejas, vasos de vidrio, probeta y agua destilada (ver Apéndice 6).

b. En el Laboratorio de la Universidad Agraria La Molina:

- Muestras suelos del fundo en estudio.
- Reactivos y equipos de análisis necesarios del Laboratorio de Suelos.

Materiales de gabinete

- Útiles de escritorio.
- Computadora, impresora, escáner, USB
- Calculadora.

2.1.3. Población y muestra

a. Población

La población estuvo representada por todos los suelos agrícolas ubicados en el transecto Huaura-Mazo, en los cuales se están desarrollando el cultivo de diversas especies anuales y perennes bajo condiciones de riego. El transecto estudiado es una línea más o menos paralela a la Carretera Panamericana Antigua que comienza en la zona de Huaura y culmina en centro poblado de Mazo.

b. Muestra

La muestra estuvo representada por ocho puntos de muestreo al azar distribuidos a lo largo del transecto Huaura-Mazo (ver Apéndice 1). En dichos puntos de muestreo se construyeron calicatas para hacer la descripción morfológica de los perfiles y recolectar las respectivas muestras de suelos que fueron analizadas y luego interpretadas de acuerdo a los objetivos de este proyecto de investigación.

2.1.4. Técnicas e instrumentos

Para la descripción de los perfiles de suelos de los ocho puntos de muestreo se hizo teniendo como base la Guía de Campo para la Descripción y Muestreo de Suelos, propuesto por Schoeneberger *et al.* (2010). Para el análisis e interpretación de los resultados se hizo uso de los criterios proporcionados por de Ortiz y Ortiz (1990), Silva *et al.* (1988), Israelsen y

Hansen (1979), Taboada y Álvarez (2008) citado por Rojas (2013) y las tablas propuestas por Schoeneberger *et al.* (1998) (ver Apéndice 2)

2.1.5. Descripción del experimento

El experimento se desarrolló en una secuencia de etapas, las mismas que consideran cuatro fases de la siguiente manera:

1. Fase preliminar

En esta primera fase se hizo el reconocimiento del área en estudio, se recopiló a información existente con referencia al tema en estudio, también se elaboró el mapa base de la zona para identificar y ubicar los ocho puntos de muestreo distribuidos en el transecto desde la localidad de Huaura hasta el caserío de Mazo (ver Apéndice 1). Como se indicó anteriormente, no se tuvo en cuenta las superficies de las parcelas en donde se ubicaron los puntos de muestreo. Sin embargo, los terrenos adyacentes al transecto con una distancia de 100 m a ambos lados, representan un aproximado de 1 000 ha de tierras de cultivo.

2. Fase de campo

En esta fase se abrieron las calicatas con 0,8 metros de ancho, 1,50 m de largo y 1,0 de profundidad (1,2 m³) en cada uno de los ocho puntos de muestreo de acuerdo con el Mapa base previamente elaborado (ver Apéndice 1). Los puntos de muestreo del presente estudio fueron ubicados a lo largo del transecto Huaura-Mazo distanciados unos de otros tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Ubicación de los puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Localidad y cultivo actual	Ubicación en UTM	Altitud (m.s.n.m.)
PM01	Caserío Guadalupe 2. Cultivo de maíz.	11°00'56,8" S 77°36'24,9" W	54
	Caserío Guadalupe 1. Cultivo: Terreno en descanso.	11°01'05,1" S 77°36'24,2" W	61

(Continuación)

PM03	Caserío El Sol 4. Cultivo de camote.	11°01'40,6" S 77°36'20,1" W	62
PM04	Caserío El Sol 1. Cultivo de camote.	11°02'09,1" S 77°36'14,2" W	63
PM05	Caserío El Sol 2. Cultivo de maíz.	11°02'28,7" S 77°36'05,6" W	62
PM06	Caserío El Sol 3. Cultivo de maíz.	11°02'37,4" S 77°36'09,4" W	66
PM07	Caserío La Muralla. Cultivo: Terreno en descanso.	11°02'47,2" S 77°36'11,1" W	65
PM08	Fundo UCSS. Cultivo de cebolla y col.	11°02'59,1" S 77°36'42,9" W	72

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizarse la caracterización de cada uno de los ocho perfiles estudiados, se tomaron las muestras por duplicado de acuerdo con lo establecido por el Laboratorio de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina a las profundidades de 0-20 y 20-60 cm de cada uno de los perfiles de los suelos en estudio.

Las muestras recolectadas en cada uno de los 8 perfiles estudiados fueron depositadas por duplicado en bolsas de polietileno y previa identificación fueron enviadas al Laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae y al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria "La Molina" para los análisis correspondientes.

3. Fase de laboratorio

En esta fase las muestras obtenidas en la fase de campo fueron analizadas de la siguiente manera:

Laboratorio de la FIA/UCSS, Huaura: Végueta

- **Humedad del suelo:** La determinación de porcentaje de humedad del suelo (Hs) fue por el Método Gravimétrico:

- **Densidad aparente:** La determinación de la densidad aparente (D_a) de las ocho muestras de suelos se hizo según Taboada y Álvarez, 2008, citado por Rojas, 2013 por el método de la probeta (ver Apéndice 3).
- **Capacidad de campo:** La capacidad de Campo (CC) fue calculada de acuerdo con a las fórmulas propuestas por Silva *et al.* (1988) teniéndose en cuenta: (a) Suelos de textura gruesa, (b) Suelos de textura fina, (c) Suelos de textura muy fina, y (d) Suelos de textura arenosa.
- **Punto de marchitez permanente:** El punto de marchitez permanente (PMP) fue calculado de acuerdo con lo propuesto por Israelsen y Hansen (1979).
- **Agua disponible:** El agua disponible (AD) según Israelsen y Hansen (1979) fue calculado mediante la diferencia entre capacidad de campo (CC) menos el punto de marchitez permanente (PMP).

Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina

En este laboratorio se realizó los siguientes análisis: (a) Análisis de fertilidad, y (b) Análisis textural de los suelos (ver Apéndice 4)

4. Fase de gabinete

En esta fase, tanto los datos obtenidos en el campo como en el laboratorio, fueron tabulados y ordenados para determinar los parámetros relacionados con la humedad del suelo, la densidad aparente, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la cantidad del agua aprovechable y la lámina de agua en los ocho perfiles de suelos en estudio. Luego de hacerse la interpretación de los resultados obtenidos, se procedió con la redacción del primer borrador de la tesis que será sometida a la comisión revisora para su aprobación y posterior sustentación del trabajo experimental.

2.1.6. Identificación de las variables y su mensuración

Las variables en estudio, las unidades de medida y los métodos están representados en la Tabla 5:

Tabla 5

Variables, unidades de medida y métodos de análisis del suelo

VARIABLES DE ESTUDIOS	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODOS
1) Variables independientes:		
- Textura de Suelo	% de arena % de limo % de arcilla	Hidrómetro de Bouyucos
- Materia Orgánica	g.kg ⁻¹	Walkley y Black
2) Variables dependientes:		
- Humedad del Suelo	%	Gravimétrico
- Capacidad de Campo	%	Silva <i>et al.</i> (1988)
- Punto de Marchitez Permanente	%	Israelsen y Hansen (1979)
- Agua Aprovechable	%	Israelsen y Hansen (1979)
- Lámina de Agua	cm	Ortiz y Ortiz (1990)
3) Variables intervinientes:		
- Conductividad Eléctrica	dS.m ⁻¹	Conductímetro
- pH	Rangos de pH	Potenciómetro
- Carbonatos	%	Gasó Volumétrico
- Fósforo disponible	mg.kg ⁻¹	Olsen modificado
- Potasio disponible	mg.kg ⁻¹	Acetato de Amonio 1N pH 7
-Densidad aparente	g.cm ⁻¹	Probeta

Fuente: Elaboración propia.

Mensuración de las variables de la investigación:

- **Humedad del suelo**

La determinación de porcentaje de humedad del suelo (Hs) fue por el Método Gravimétrico (Ortiz y Ortíz):

$$\% Hs = \frac{\text{Peso Suelo húmedo} - \text{Peso Suelos Seco}}{\text{Peso Suelo Seco}} \times 100$$

- **Densidad aparente**

La determinación de la densidad aparente (D_a) de las ocho muestras de suelos se hizo según Taboada y Álvarez (2008) citado por Rojas (2013) por el método de la probeta, mediante la siguiente fórmula:

$$D_a = \frac{\text{Masa (peso del suelo en gramos)}}{\text{Volumen total del suelo (en cm}^3\text{)}}$$

- **Capacidad de campo**

La capacidad de Campo (CC) fue calculada de acuerdo con lo sugerido por Silva *et al.* (1988) de la siguiente manera:

* $CC = 8,658 + (2,751 \times \% \text{ materia orgánica}) + (0,296 \times \% \text{ Limo})$, para suelos de textura gruesa.

** $CC = 21,977 - (0,186 \times \% \text{ Arena}) + (2,601 \times \% \text{ materia orgánica}) + (0,127 \times \% \text{ arcilla})$ para suelos de textura fina.

*** $CC = 9,879 + (3,558 \times \% \text{ Materia orgánica}) + (0,336 \times \% \text{ arcilla})$ para suelos de textura muy fina.

$\% CC = 8,658 + 2.571 * (\% \text{ materia orgánica}) + 0,296 * (\% \text{ limo})$: Para el caso de los suelos arenosos.

- **Punto de marchitez permanente**

El punto de marchitez permanente (PMP) fue calculado de acuerdo con lo propuesto por Israelsen y Hansen (1979), quienes ajustaron las ecuaciones para el cálculo del PMP en horizontes A, de la siguiente manera:

$$PMP = -2,177 + 0,393(\% \text{ arcilla}) + 1,206 (\% \text{ materia orgánica}).$$

$$PMP = -5 + 0,74 (\text{capacidad de campo}).$$

Otra manera de estimar el PMP es dividiendo el contenido de agua a CC por el factor 1,7 o 2 para suelos arcillosos o arenosos, respectivamente.

- **Agua disponible**

El agua disponible (AD) según Israelsen y Hansen (1979) es fácilmente calculado mediante la diferencia entre capacidad de campo (CC) menos el punto de marchitez permanente (PMP), como se señala en la siguiente relación:

$$AD = CC - PMP, \text{ expresada en mm para la profundidad de suelo deseada.}$$

- **Lámina de agua**

La lámina de agua (La) de los suelos del transecto Huaura – Mazo, fue calculada mediante la siguiente relación:

$$La(\text{cm}) = \frac{(CC - PMP) (Da) (E)}{100}$$

Los datos obtenidos en la evaluación de los parámetros anteriores fueron interpretados de acuerdo con las tablas propuestas por Schoeneberger *et al.* (1998) (ver Apéndice 2).

2.1.7. Análisis estadístico de datos

El tratamiento de la data obtenida de la mensuración de las variables fue procesado mediante el programa Micro office Excel.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización e interpretación de los suelos del transecto Huaura – Mazo

Al efectuarse la caracterización de los suelos del transecto Huaura-Mazo se han descrito los perfiles de las ocho calicatas de suelos considerados en este estudio, cuyas características más importantes están representadas en las Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

3.1.1. Calicata 01 (PM01)

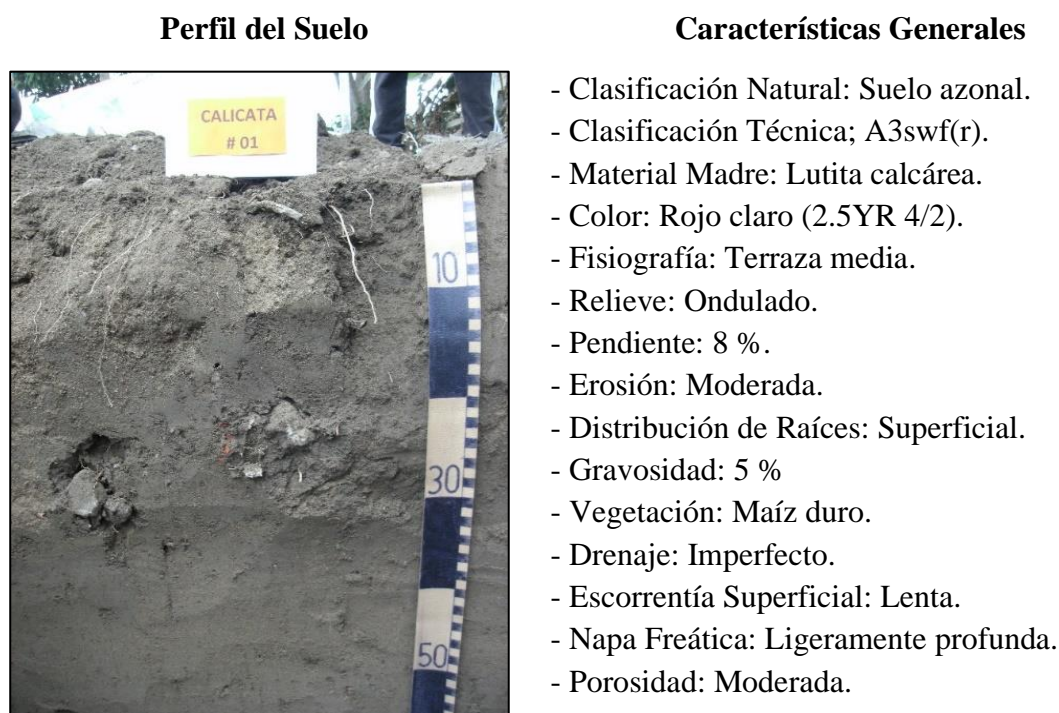


Figura 1. Calicata y descripción del perfil 01. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Calicata 02 (PM02)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A3swf(r).
- Material madre: Lutita calcárea.
- Color: Marrón grisáceo oscuro (10YR3/2).
- Fisiografía: Terraza media.
- Relieve: Ondulado.
- Pendiente: 7 %.
- Erosión: Ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 0 %.
- Vegetación: Terreno en descanso.
- Drenaje: Imperfecto.
- Escorrentía superficial: Lenta.
- Napa freática: Ligeramente profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 2. Calicata y descripción del perfil 02. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Calicata 03 (PM03)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A3swf(r).
- Material madre: Lutita calcárea.
- Color: Marrón grisáceo oscuro (10YR3/2).
- Fisiografía: Terraza media.
- Relieve: Ondulado.
- Pendiente: 8 %.
- Erosión: ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 5 %.
- Vegetación: Camote.
- Drenaje: Moderado.
- Escorrentía superficial: Lenta.
- Napa freática: Ligeramente profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 3. Calicata y descripción del perfil 03. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Calicata 04 (PM04)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A3swf(r).
- Material madre: Lutita calcárea.
- Color: Gris muy oscuro: 7.5YR 3/1)
- Fisiografía: Terraza media.
- Relieve: Plano.
- Pendiente: 5 %.
- Erosión: Muy ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 0 %
- Vegetación: Camote.
- Drenaje: Moderado.
- Escorrentía superficial: Muy Lenta.
- Napa freática: Ligeramente profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 4. Calicata y descripción del perfil 04. Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Calicata 05 (PM05)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A3swf(r).
- Material madre: Lutita calcárea.
- Color: Marrón oscuro (7.5YR 3/2)
- Fisiografía: Terraza media.
- Relieve: Ligeramente ondulado.
- Pendiente: 6 %.
- Erosión: Muy ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 0 %.
- Vegetación: Maíz.
- Drenaje: Moderado.
- Escorrentía superficial: Muy lenta.
- Napa freática: Profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 5. Calicata y descripción del perfil 05. Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Calicata 06 (PM06)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A2sf(r).
- Material madre: Arenisca calcárea.
- Color: Marrón oscuro (7.5YR 3/2).
- Fisiografía: Terraza media.
- Relieve: Ondulado.
- Pendiente: 6 %.
- Erosión: Muy ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 5 %
- Vegetación: Maíz.
- Drenaje: Normal.
- Escorrentía superficial: Lenta.
- Napa freática: Profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 6. Calicata y descripción del perfil 06. Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Calicata 07 (PM07)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A2sf(r).
- Material madre: Arenisca calcárea.
- Color: Marrón rojizo oscuro (5YR 3/2).
- Fisiografía: Terraza alta.
- Relieve: Ligeramente ondulado.
- Pendiente: 7 %.
- Erosión: ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 5 %.
- Vegetación: Terreno en descanso.
- Drenaje: Bueno.
- Escorrentía superficial: Lenta.
- Napa freática: Profunda.
- Porosidad: Moderada.

Figura 7. Calicata y descripción del perfil 07. Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Calicata 08 (PM08)

Perfil del Suelo



Características Generales

- Clasificación natural: Suelo azonal.
- Clasificación técnica; A2sf(r).
- Material madre: Arenisca calcárea.
- Color: Marrón amarillento oscuro (10YR $\frac{3}{4}$).
- Fisiografía: Terraza alta.
- Relieve: Plano.
- Pendiente: 5 %.
- Erosión: Muy ligera.
- Distribución de raíces: Superficial.
- Gravosidad: 3 %
- Vegetación: Hortalizas.
- Drenaje: Bueno.
- Escorrentía superficial: Lenta.
- Napa freática: Profunda.
- Porosidad: Buena.

Figura 8. Calicata y descripción del perfil 08. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Resultados del análisis de las principales características de los suelos del transecto Huaura - Mazo

En las Figuras 9, 10, 11, 12, 13 y 14 y en la Tabla 6, se muestran los resultados de los análisis de la reacción del suelo en términos de pH, la conductividad eléctrica expresada en dS.m^{-1} , el contenido de carbonatos y de la materia orgánica (ambos en porcentaje) y el fósforo y potasio, disponibles expresados en mg.kg^{-1} , así como la clase textural de los 8 perfiles de suelos en estudio.

Los valores de dichas características se obtuvieron luego de realizarse los respectivos análisis de las muestras de suelos tomadas en dos profundidades (0-20 y de 20 a 60 cm) realizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) (ver Apéndice 2).

3.2.1. pH

El pH de los suelos en estudio fue analizado teniendo en cuenta dos profundidades en el perfil del suelo: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables (Figura 9).

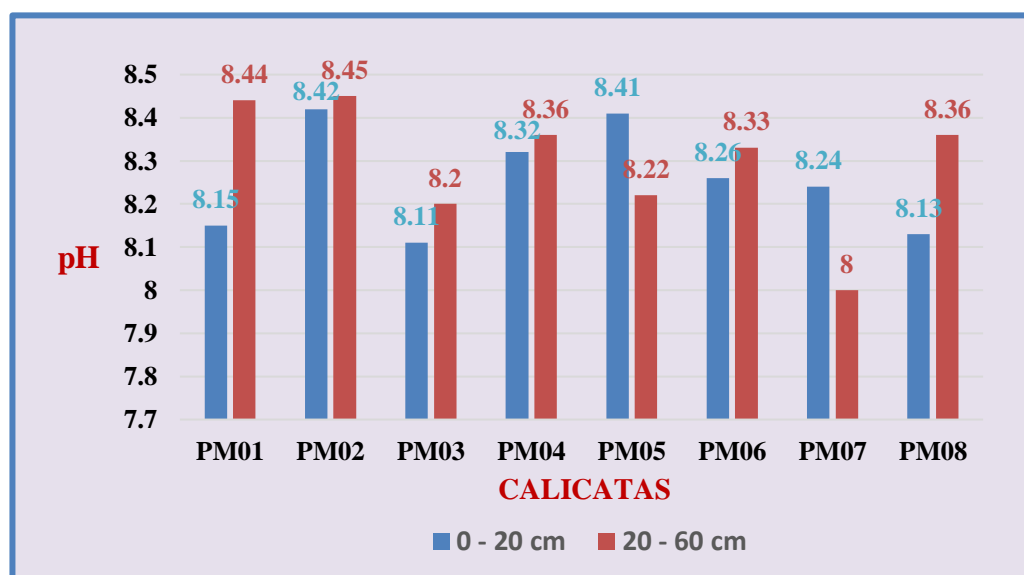


Figura 9. Resultados del análisis del pH de los suelos del transecto Huaura-Mazo.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Salinidad

La salinidad de los suelos del transecto Huaura – Mazo, expresados en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue analizada teniendo en cuenta dos profundidades: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables tal como se aprecia en la Figura 10.

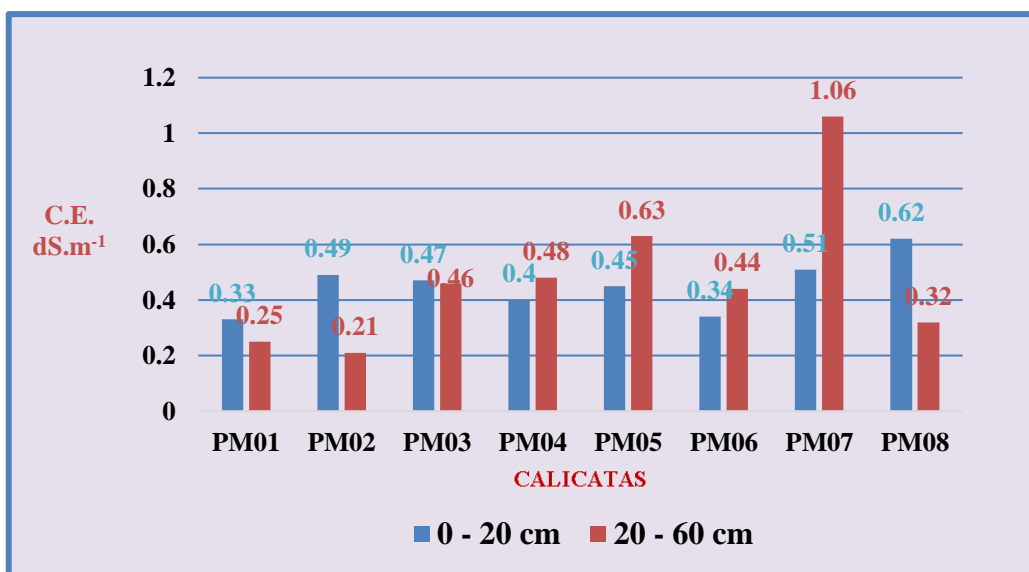


Figura 10. Resultados del análisis de la conductividad eléctrica de los suelos del transecto Huaura-Mazo. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Contenido de carbonatos de calcio

El contenido de carbonatos de calcio de los suelos del transecto Huaura – Mazo expresados en porcentaje fue analizado teniendo en cuenta dos profundidades: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables tal como se aprecia en la Figura 11.

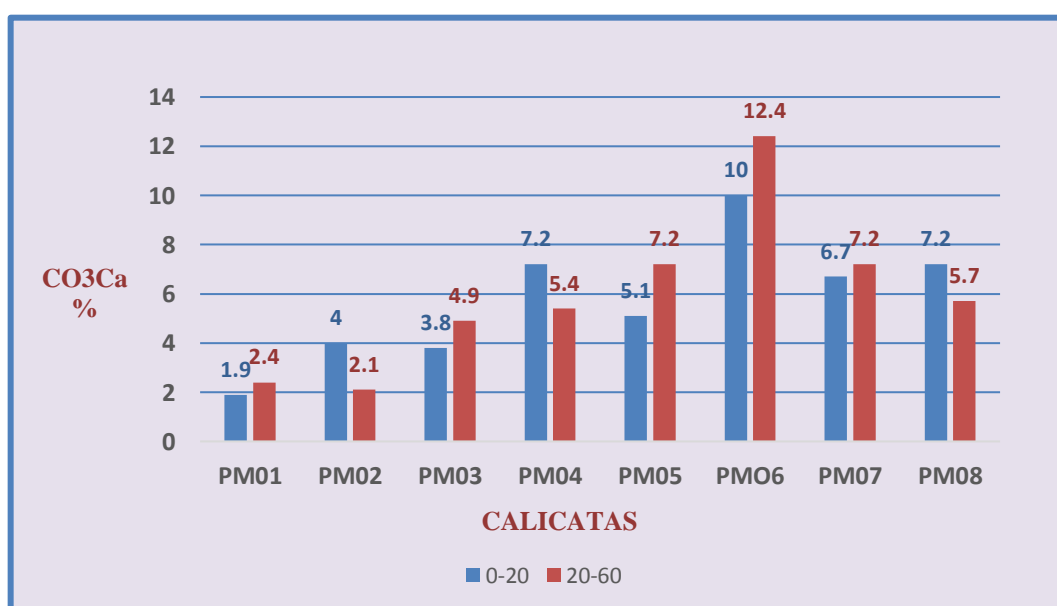


Figura 11. Resultados del Análisis de carbonatos de calcio de los suelos del transecto Huaura-Mazo. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Textura del Suelo

También la textura de los suelos del transecto Huaura – Mazo expresada en porcentajes de arena, limo y arcilla y las clases texturales, fue analizada teniendo en cuenta dos profundidades: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables tal como se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6

Resultados del análisis de la textura de los suelos en estudio

Punto muestreo	Profundidad (cm)	Fracciones (%)			Clase Textural
		Arena	Limo	Arcilla	
PM01	0 – 20	73	10	17	Franco arenosa
	20 – 60	71	12	17	Franco arenosa
PM02	0 – 20	70	14	16	Franco arenosa
	20 – 60	81	10	9	Arena franca
PM03	0 – 20	51	24	25	Franco arcillo arenosa
	20 – 60	25	42	33	Franco arcillosa
PM04	0 – 20	53	24	23	Franco arcillo arenosa
	20 – 60	25	40	35	Franco arcillosa
PM05	0 – 20	30	38	32	Franco arcillosa
	20 – 60	26	38	36	Franco arcillosa
PM06	0 – 20	29	34	37	Arcilla arcillosa
	20 – 40	23	32	45	Arcilla
PM07	0 – 20	30	40	30	Franco arcillosa
	20 – 60	29	38	33	Franco arcillosa
PM08	0 – 20	31	35	34	Franco arcillosa
	20 – 60	31	35	34	Franco arcillosa

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica de los suelos del transecto Huaura – Mazo expresados en porcentaje, fue analizado teniendo en cuenta dos profundidades: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables tal como se aprecia en la Figura 12.

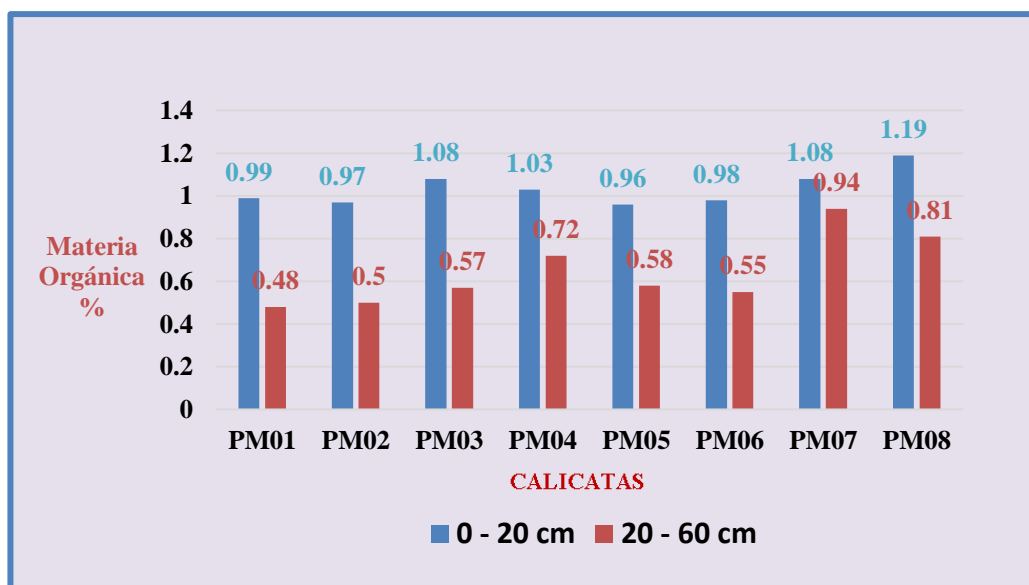


Figura 12. Resultados del análisis de la materia orgánica de los suelos en estudio. Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Fósforo disponible

El contenido de fósforo disponible de los suelos del transecto Huaura – Mazo expresado en mg.kg^{-1} fue analizado teniendo en cuenta dos profundidades: de 0 a 20 cm (suelo superficial) y de 20 a 60 cm (suelo subterráneo), cuyos valores fueron muy variables tal como se aprecia en la Figura 13.

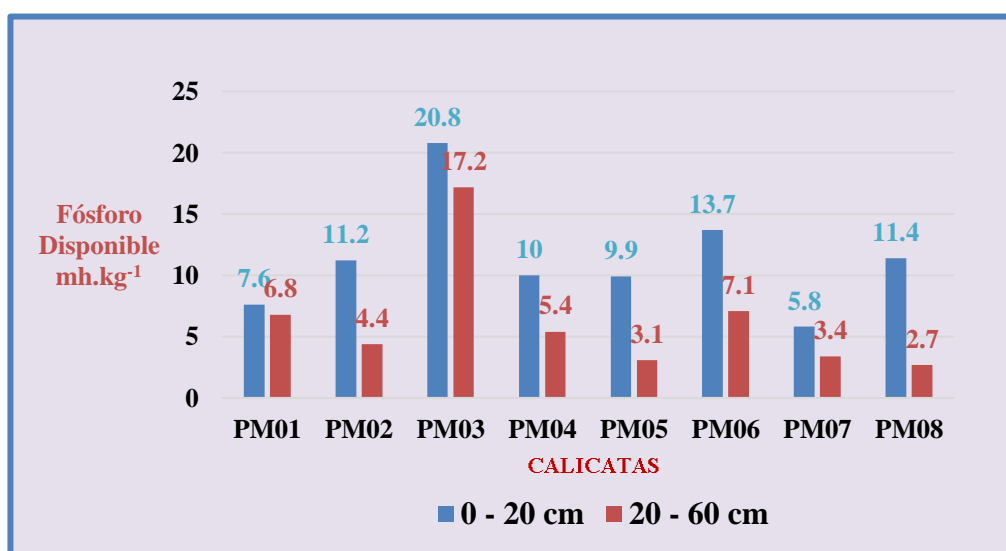


Figura 13. Resultados del análisis del fósforo disponible de los suelos del transecto Huaura-Mazo. Fuente: Elaboración propia.

3.2.7. Potasio disponible

Los resultados de potasio disponible en los suelos del transecto Huaura – Mazo considerando las dos profundidades (0-20 y 20-60 cm) fueron muy variables, tal como se puede observar en la Figura 14.

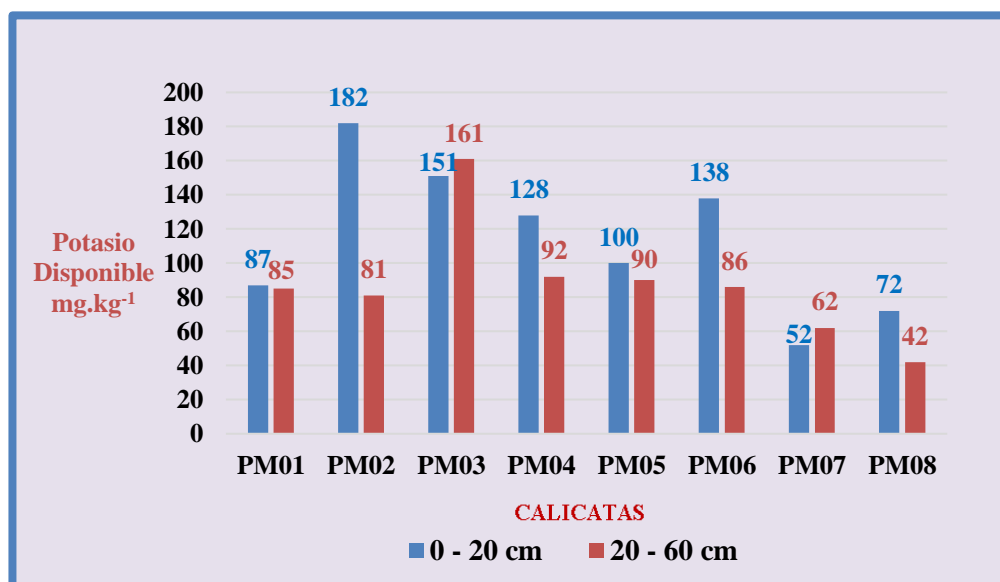


Figura 14. Resultados del análisis del potasio disponible de los suelos del transecto Huaura-Mazo. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Resultados de la capacidad de retención del agua disponible

Las Tablas 7, 8, 9, 10 y 11 muestran los resultados de los cálculos de la humedad (%), capacidad de campo (%), agua al punto de marchitez permanente (%), el agua disponible (%) y la lámina de agua (cm) que caracterizan a los ocho tipos de suelos estudiados.

3.3.1. Humedad del suelo

La determinación del porcentaje de humedad del suelo (Hs) (en base a dos profundidades: 0 a 20 y de 20 a 60 cm) se hizo por el Método Gravimétrico, cuyos resultados fueron muy variables, encontrándose valores de 28,2 hasta 51,5 %, como puede observarse en la Tabla 7.

Tabla 7

Resultados del contenido de humedad de los suelos en estudio

Punto de Muestreo	Profundidad (cm)	Humedad (%)
PM01	0 – 20	29,4
	20 – 60	32,6
PM02	0 – 20	29,7
	20 – 60	28,2
PM03	0 – 20	35,0
	20 – 60	36,0
PM04	0 – 20	44,8
	20 – 60	44,0
PM05	0 – 20	33,4
	20 – 60	46,7
PM06	0 – 20	51,5
	20 – 40	46,7
PM07	0 – 20	46,2
	20 – 60	44,8
PM08	0 – 20	48,0
	20 – 60	47,1

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Capacidad de campo

La capacidad de campo de los suelos del transecto Huaura – Mazo fue calculada en base a la clase textural de las siguientes ecuaciones están mostradas en la Tabla 8, donde se puede observar que este tipo de humedad del suelo es variable desde 28,49 % hasta 13,00 %, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 8

Capacidad de campo de los suelos del transecto Huaura-Mazo

Punto de muestreo	Clase textural	Materia orgánica (%)	Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)
PM01	Fr.A.	0,99	0 – 20	* 14,16
	Fr.A.	0,48	20 – 60	* 13,53
PM02	Fr.A.	0,97	0 – 20	* 15,47
	A.Fr.	0,50	20 – 60	* 13,00
PM03	Fr.Ar.A.	1,08	0 – 20	* 18,73
	Fr. Ar.	0,57	20 – 60	** 23,00

(Continuación)

PM04	Fr.Ar.A.	0,72	0 – 20	*	17,74
	Fr.Ar	1.03	20 – 60	**	24,46
PM05	Fr. Ar.	0,96	0 – 20	**	22,96
	Fr. Ar.	0,58	20 – 60	**	23,22
PM06	Ar.	0,55	0 – 20	***	22,72
	Fr. Ar.	0,98	20 – 60	**	28,49
PM07	Fr. Ar.	1,08	0 – 20	**	23,02
	Fr. Ar.	0,94	20 – 60	**	23,22
PM08	Fr. Ar.	1,19	0 – 20	**	23,33
	Fr. Ar.	0,81	20 – 60	**	22,64

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente de los suelos del transecto Huaura – Mazo, es variable en los ocho puntos de muestreo, oscilando entre 5,01 % hasta 13,10. Los resultados encontrados en los ocho perfiles de suelo estudiados se observa en la Tabla 9.

Tabla 9

Punto de marchitez permanente de los suelos de transecto Huaura-Mazo

Puntos de muestreo	Profundidad (cm)	Punto de marchitez (%)
PM01	0 – 20	5,48
	20 – 60	5,01
PM02	0 – 20	6,45
	20 – 60	4,62
PM03	0 – 20	8,86
	20 – 60	12,02
PM04	0 – 20	8,13
	20 – 60	13,10
PM05	0 – 20	11,99
	20 – 60	12,18
PM06	0 – 20	11,81
	20 – 40	16,08
PM07	0 – 20	12,03
	20 – 60	12,18
PM08	0 – 20	12,26
	20 – 60	11,75

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Agua disponible

Del mismo modo, la Tabla 10 muestra los resultados del agua disponible de los suelos en estudio, cuyos valores son también variables tanto en la profundidad de 0-20 cm como de 20-60 cm, variando de 8,38 % a 12,41 %.

Tabla 10

Agua disponible de los suelos de transecto Huaura-Mazo

Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Agua disponible (%)
PM01	0 – 20	14,16	5,48	8,68
	20 – 60	13,53	5,01	8,52
PM02	0 – 20	15,47	6,45	9,02
	20 – 60	13,00	4,62	8,38
PM03	0 – 20	18,73	8,86	9,87
	20 – 60	23,00	12,02	10,98
PM04	0 – 20	17,74	8,13	9,61
	20 – 60	24,46	13,10	11,36
PM05	0 – 20	22,96	11,99	10,97
	20 – 60	23,22	12,18	11,04
PM06	0 – 20	22,72	11,81	10,91
	20 – 40	28,49	16,08	12,41
PM07	0 – 20	23,02	12,03	10,99
	20 – 60	23,22	12,18	11,04
PM08	0 – 20	23,33	12,26	11,07
	20 – 60	22,64	11,75	10,89

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Lámina de agua

En la Tabla 11 se muestra los resultados con respecto a la lámina de agua de los suelos del transecto Huaura-Mazo que fue calculada en base al agua disponible, la densidad aparente y el espacio o profundidad de penetración del agua, encontrándose valores muy variables entre 36,6 mm a 50,8 mm.

Tabla 11

Lámina de agua para riegos de los suelos de transecto Huaura-Mazo

Punto de Muestreo	Profundidad (cm)	Agua disponible (cm³)	Densidad aparente (g.cm⁻³)	Espacio (Profundidad) (cm)	Lámina de agua (cm) (mm)	
PM01	0 – 20	86,8	1,49	30	3,88	38,8
	20 – 60	85,2	1,43	30	3,66	36,6
PM02	0 – 20	90,2	1,45	30	3,92	39,2
	20 – 60	83,8	1,47	30	3,69	36,9
PM03	0 – 20	9,87	1,47	30	4,35	43,5
	20 – 60	10,98	1,40	30	4,61	46,1
PM04	0 – 20	9,61	1,36	30	3,92	39,2
	20 - 60	11,36	1,49	30	5,08	50,8
PM05	0 - 20	10,97	1,51	30	4,97	49,7
	20 - 60	11,04	1,34	30	4,44	44,4
PM06	0 - 20	12,41	1,32	30	4,91	49,1
	20 - 40	10,91	1,35	30	4,42	44,2
PM07	0 - 20	10,99	1,36	30	4,48	44,8
	20 - 60	11,04	1,32	30	4,37	43,7
PM08	0 - 20	11,07	1,35	30	4,48	44,8
	20 - 60	10,89	1,36	30	4,44	44,4

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

CC = Humedad a la capacidad de campo.

PMP = Punto de marchitez permanente.

E = Espesor considerado del suelo en cm.

Entonces: $CC - PMP = AD$ (agua disponible).

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Caracterización de los suelos del transecto Huaura – Mazo

4.1.1. Suelos de material parental constituido por lutitas calcáreas

Son suelos azonales con escaso desarrollo pedogenético caracterizado por tener perfiles del tipo A/C. Estos suelos, por su capacidad de uso mayor, corresponden a la clase A3swf por tener limitaciones debidas a la escasa profundidad, textura pesada y exceso de humedad, debido a que los horizontes subterráneos tienen cierto grado de compactación que impiden un buen drenaje; son aptos para cultivos en limpio pero con baja aptitud con textura moderadamente fina a fina, con exceso de humedad por tener un horizonte subterráneo con un mayor porcentaje de arcilla y con una aparente compactación producido por la labores de cultivo, especialmente el uso de maquinaria, durante mucho años, son suelos de baja fertilidad natural. A este grupo pertenecen los suelos de las calicatas 01 (PM01), 02 (PM02), 03 (PM03), 04 (PM04) y 05 (PM05), que se ubican en la terraza media del transecto Huaura – Mazo. Estos resultados difieren de los reportados por Ventocilla (2015), quién señala que los suelos de Végueta se caracterizan por ser de textura gruesa, aunque hay una coincidencia en sentido de que los suelos de Végueta son superficiales y de escaso desarrollo pedogenético.

4.1.2. Suelos de material parental constituido por arenisca gravosa

Estos suelos son también de muy escaso desarrollo pedogenético, presentando perfiles del tipo A/C. Son superficiales con escasa profundidad efectiva, con textura gruesa a muy gruesa, con humedad normal y sin problemas de compactación de las capas subterráneas. En este grupo están considerados los perfiles de suelos de las calicatas 06 (PM06), 07 (PM07) y 08 (PM08), que están ubicados en la terraza alta del transecto Huaura-Mazo. Muy al contrario, en este caso, los resultados encontrados coinciden con lo reportado por Ventocilla (2015) quien señala que los suelos de Végueta se caracterizan por ser de escaso desarrollo

pedogenético, superficiales y de textura gruesa y bien drenados. Estos suelos, por su capacidad de uso mayor, corresponden a la clase A2sf(r), con una calidad agrológica media, debido a tener limitaciones por la escasa profundidad, textura gruesa y sin exceso de humedad ni problemas de compactación, pero que también requieren de riegos para el desarrollo de los cultivos. Ventocilla (2015) al estudiar los suelos de Medio Mundo Végueta también encontró que éstos son de las clases A2 y A3 con limitaciones debido a la escasa profundidad, textura gruesa que les hacen sujetos a una lixiviación.

4.2. Resultados del análisis de las principales características de los suelos

4.2.1. pH

El pH de los suelos del transecto Huaura-Mazo es variable, encontrándose rangos de pH que varían de 8,0 a 8,45, que permite asumir que esta característica de acuerdo a la Tabla de clasificación del pH propuesto por Schoeneberger *et al.* (1998) corresponden a suelos moderadamente básicos tanto en la capa superficial de 0 a 20 cm así como en capa subterránea de 20 a 60 cm de profundidad, con una clara tendencia a ser ligeramente menor en la capa superficial y mayor la capa subterránea con la excepción de las calicatas 5 (PM05) y la calicata 7 (PM07) que es al contrario: mayor en la capas superficiales y menor en la capas subterráneas, respectivamente. Además, los valores encontrados tienen una gran similitud con los reportados por Ventocilla (2015), quien al hacer la clasificación de la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo”, en Végueta-Huaura, encontró que el pH de esos suelos fue de ligeramente básicos a moderadamente básicos. En estos suelos habrá el riesgo de fijación del fósforo debido a la formación de fosfatos de calcio insolubles y también se tendrá deficiencias de hierro y manganeso, especialmente.

4.2.2. Salinidad

Con respecto a los resultados del análisis de la conductividad eléctrica en los ocho suelos del transecto Huaura-Mazo en estudio y en las dos profundidades consideradas, no tienen problemas en cuanto a la salinidad porque los valores encontrados son menores a 2 dS.m^{-1} , tal como señala Schoeneberger *et al.* (1998) que con los valores encontrados no habrán problemas de salinidad, lo cual significa que en estos suelos del transecto Huaura – Mazo, se pueden cultivar un amplio rango de cultivos, incluso aquellas especies que sean muy

susceptibles a la salinidad. Ventocilla (2015) también expresa algo similar en el sentido que en los suelos de Medio Mundo, Végueta no tienen problemas de salinidad.

4.2.3. Carbonatos

El contenido de carbonatos es medio en ambas profundidades de las calicatas C1 (PM01), C2 (PM02) y C3 (PM03), cuyos valores están entre 1 a 5 % de CaCO_3 mientras que en el resto de las calicatas C4 (PM04), C5 (PM05), C6 (PM06), C7 (PM07) y C8 (PM08), el contenido de carbonatos es alto porque los valores encontrados están en un rango entre 5 a 15 %. Esta tendencia se da tanto para la capa superficial (0 a 20 cm) como para la capa subterránea (20 a 60 cm). Estos resultados indican que los suelos en estudio, los carbonatos tienen un efecto sobre el arreglo y disposición estructural de la masa del suelo, también tienen un rol importante en la reacción del suelo y en la constitución fisicoquímica del *solum* como un todo. Además, el contenido de carbonatos de calcio tendrá influencia en la relación suelo-agua y en la asimilación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, teniéndose en cuenta que un contenido moderado de carbonato de calcio tiene un efecto favorable sobre la capacidad del suelo para la irrigación, tal como señalan Sys *et al.* (1991).

4.2.4. Textura

La textura de los suelos en estudio es variable, siendo gruesa (arena franca) en la capa de 20 a 60 cm en el PM02 y moderadamente gruesa en las capas de 0 a 20 cm y de 20 a 60 cm en el PM01 y de 0 a 20 cm del PM02 y fina en los PM03, PM04, PM05, PM06, PM07 y PM08 tanto en las capas superficiales de 0 a 20 cm, así como en las capas subterráneas de 20 a 60 cm, respectivamente. Aunque la clase textural varía entre franco arcillo arenoso, franco arcilloso y arcilla fina, apreciando notoriamente la variabilidad de esta característica en los suelos estudiados, las mismas que tendrán un efecto significativo en el agua disponible, especialmente por el contenido de arcillas que constituye la fracción coloidal con una gran superficie activa que es la base de los procesos físico-químicos más importantes del suelo, junto con la materia orgánica coloidal, ya que los rangos de textura están estrechamente relacionados con la permeabilidad del suelo y el contenido de agua asimilable en las diferentes clases texturales encontradas (Sys *et al.*, 1991). Además, la textura es una propiedad importante porque influye sobre la fertilidad y en la habilidad del suelo para retener agua y aire, facilitando un buen drenaje, junto con el contenido de materia orgánica

(FAO, 2016). Josephth (2010 agrega que una mayor disponibilidad de agua para las plantas ocurre cuando el suelo tiene mayor contenido de material arcilloso y según Chicas *et al.* ((2014) dicen que el contenido de arena conjuntamente con la densidad aparente afecta significativamente en la variación de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.

4.2.5. Materia orgánica

Con referencia al contenido de materia orgánica se ha encontrado que esta importante propiedad de los suelos se encuentra en niveles bajos en todas las calicatas o puntos de muestreo, variando desde 0,97 hasta 1,19 % en las capas superficiales (0 a 20 cm), y de 0,48 a 0,94 % en las capas subterráneas (20 a 60 cm), siendo calificadas en ambos casos como niveles bajos con contenidos ligeramente más altos en la capa superficial y más bajos en la capa subterránea. En consecuencia, se hace conveniente la incorporación de materia orgánica, ya sea en forma de estiércol o compost, para mejorar el nivel de la materia orgánica, teniéndose en cuenta lo reportado por Vela *et al.* (2012), quienes señalan que el humus que se incorpora al suelo no solo regula el pH del suelo, sino también disminuye la lixiviación de nutrientes en aquellos suelos de textura gruesa y aumenta la retención del agua, lo cual redundará en una mayor cantidad de agua aprovechable en los suelos. Además, el contenido de materia orgánica junto con la textura son propiedades importantes que aparte de influir en la fertilidad aumentan la habilidad del suelo para retener agua y aire, al mejorar la porosidad y la capacidad retentiva del agua (FAO, 2016). Da Costa *et al.* (2013) agregan que los suelos francos con alto contenido de materia orgánica tienen una mayor disponibilidad de agua para las plantas.

4.2.6. Fósforo disponible

El contenido de fósforo disponible que es un factor importante de la fertilidad natural de los suelos también es variable. En la capa superficial de 0 a 20 cm tiene un mayor contenido de este elemento con valores que oscilan entre 5,8 hasta 20,8 mg.kg⁻¹ y más bajo en la capa subterránea de 20 a 60 cm con contenidos que varían de 2,7 a 17,2 mg.kg⁻¹, notándose claramente que los mayores contenidos están en la capa superficial con respecto a la capa subyacente. Es importante resaltar que los niveles del fósforo disponible son bajos (menor de 7 mg.kg⁻¹) en el PM01, PM02, PM04, PM05, PM07 y PM08 (20-40 cm), medio (entre 7

y 14 mg.kg^{-1}) en las capas superficiales del PM01, PM02, PM04, PM05, PM08 y en el PM06 en ambas profundidades (0-20 y 20-60 cm). El contenido de fósforo disponible es alto ($> 14 \text{ mg.kg}^{-1}$) en el PM06, tanto de 0-20 como de 20-60 cm de profundidad.

Los resultados obtenidos permiten asumir que la mayoría de los suelos estudiados tienen niveles de fósforo entre bajo y medio, muy a pesar de ser suelos intensamente cultivados. Las cantidades de fósforo encontrados en los suelos del transecto Huaura – Mazo, difieren con lo reportado por Ventocilla (2015), quien señaló que el contenido de fósforo en los suelos de Végueta es bajo, requiriéndose que en la planificación de futuros cultivos la implementación de un eficiente programa de fertilización, donde se considere al fósforo, especialmente.

4.2.7. Potasio disponible

Los resultados del análisis del potasio disponible en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 60 cm de los suelos del transecto Huaura-Mazo son muy variables, con cantidades que van desde 52 a 182 mg.kg^{-1} en la capa superficial (0 a 20 cm). Al contrario, los niveles de potasio disponible en la capa de 20 a 60 cm tienden a ser mucho menor con respecto a los niveles encontrados en la capa superficial (0-20 cm), estos niveles van desde 42 mg.kg^{-1} hasta 161 mg.kg^{-1} . La gran variabilidad del potasio disponible encontrada en estos suelos tiene mucha relación con el tipo de cultivo desarrollado y con el plan de fertilización que están utilizando los agricultores de la zona de estudio, dando a entender que se hace necesario la aplicación de niveles altos de potasio en los suelos de los PM07 y PM08, ya que estos suelos tienen niveles bajos de potasio disponible. Los suelos adyacentes a los PM01 y PM05 requieren de niveles medios de potasio, y los suelos del PM02, PM03, PM03, PM04 y PM06 por tener niveles altos de potasio disponible, requieren de la aplicación de niveles bajos de potasio mediante la fertilización. Los valores del potasio disponible encontrados en los suelos del transecto Huaura-Mazo, tienen una similitud con lo señalado por Ventocilla (2015), quien señala que los suelos de Végueta son de medios a altos en sus contenidos de potasio disponible.

4.3. Tipos de retención de la humedad y el agua disponible en los suelos

4.3.1. Humedad

El contenido de humedad contenido en los suelos del transecto Huaura-Mazo es variable desde 28,2 % hasta 48 %. Esta variación es consecuencia del bajo contenido de materia orgánica que tienen los suelos estudiados, pero lo más determinante es la textura de estos suelos, ya que cuando la textura gruesa - como es el caso de los suelos del PM01 y PM02 - serán menores los porcentajes de humedad, con valores que oscilan de 28,2 a 32,6 % de humedad. Asimismo, los suelos de textura moderadamente fina como es el caso de los PM03 en ambas profundidades, y PM05 en la capa de 20 a 60, tienen un contenido de humedad variable entre 33,4 a 36,0 % de humedad, mientras que los suelos más finos, como es el caso de los PM04, PM06, PM07 y PM08, son suelos que mayor humedad retienen, con valores que van desde 44,0 hasta 48,0 % de humedad. Estos valores encontrados con referencia al contenido de humedad concuerdan con lo reportado por Ortiz y Ortiz (1990) quienes afirman que el agua es uno de los componentes más variables en el suelo, por lo tanto, los diferentes suelos tienen distintas capacidades para retener el agua que las plantas requieren de acuerdo con la textura y el contenido de materia orgánica. Cuando abundante agua está presente en el suelo y no se drena, las raíces de plantas pueden morir debido a la carencia de oxígeno. Al respecto, Molfino y Califra (2001) explican que los cambios de los volúmenes de agua en el suelo producen un estrés al bajar los niveles de la humedad útil para las plantas.

4.3.2. Capacidad de campo

Con referencia a la capacidad de campo de los suelos del transecto Huaura-Mazo, se pudo apreciar que esta característica también tiene una variación similar al del porcentaje de humedad, notándose claramente que la clase textural en primer lugar seguido del contenido de materia orgánica, son determinantes sobre la capacidad de campo de los suelos estudiados. Es así, que los suelos con menor capacidad de campo son aquellos suelos que tienen una textura gruesa como es el caso de los PM01 y PM02 que tienen una capacidad de campo, tanto en la profundidad de 0 a 20 cm como de 20 a 60 cm, que oscila entre 13,00 a 14,16 %; luego están los suelos de textura moderadamente fina como es el caso de los PM03 y PM04 solamente en la profundidad de 0 a 20 cm que tienen una capacidad de campo entre 17,74 a 18,73 % respectivamente. El resto de los puntos de muestreo como lo son los PM05

y PM06 (solo en la capa de 0-20 cm), PM07 y PM08 por tener una textura fina, tienen una capacidad de campo que varían entre 22,96 a 24,46 % y solamente el PM06 en la profundidad superficial de 0 a 20 cm tiene una capacidad de campo superior con 28,49 %. Los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Silva *et al.* (1988) quienes señalan que la capacidad de campo es la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener después de haberse efectuado un riego profundo o soportado una lluvia intensa y drenado libremente por 48 horas, a lo que se agrega lo dicho por Israelsen y Hansen (1979) que la capacidad de campo es un parámetro que puede ser determinado en el campo o laboratorio o pueden inferirse a través de otras propiedades del suelo como la granulometría y el contenido de materia orgánica. Corado (2014) asegura que la disponibilidad de agua juntamente con una buena nutrición mineral influye considerablemente sobre el rendimiento de los cultivos.

4.3.3. Punto de marchitez

Con referencia al punto de marchitez, los valores obtenidos son muy variables ya que los PM01 y PM02 en ambas profundidades y el PM03 y PM04, solo en la profundidad de 20 a 60 cm, son de textura media y bajo contenido de materia orgánica y, por lo tanto, tienen los más bajos puntos de marchitez permanente con valores que varían de 4,62 a 6,45 %. El resto de puntos de muestreo, tienen el punto de marchitez permanente con valores que están entre 11,75 a 13,10 %, a excepción del PM06 en la capa superficial, que tiene el valor más alto con 16,08 %, debido a que su textura es arcillosa y con bajo contenido de materia orgánica. Estos resultados están en relación a lo que afirman Israelsen y Hansen (1970) y Porta *et al.* (2003), que el valor del agua al punto de marchitamiento permanente depende del tipo de suelo y es el límite hasta donde la planta puede extraer la humedad ya que por debajo del cual la humedad ya no es aprovechable por las plantas. También en los resultados del punto de marchitez permanente se puede notar que están influenciado notoriamente por la textura (contenido de arena y por la densidad aparente de los suelos (Chicas *et al.*, 2014).

4.3.4. Agua disponible

Con respecto al agua disponible que tienen los suelos del transecto Huaura-Mazo, tal como se indica en la Tabla 10, los PM01 y PM02 en ambas profundidades, PM03 y PM04, solo en las profundidades de 0 a 20 cm, tienen los valores más bajos que varían de 8,30 a 9,87, mientras que los PM03 y PM04 solo en la capa de 20 a 60 cm, los PM05, PM06, PM07 y

PM08, tienen los contenidos más altos de agua disponible con valores que varían de 10,89 hasta 12,41 %, ratificándose que tanto la textura, con referencia al contenido de arcilla del suelo, así como el bajo contenido de materia orgánica son los factores que están influenciando las diferencias del agua disponible de los suelos en estudio.

Los resultados permiten aceptar lo que sugieren Ortiz y Ortiz (1990), en el sentido de que el agua disponible o agua aprovechable por la planta, representan la humedad del suelo entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo, y la variación encontrada mediante este estudio, se debe principalmente a la textura del suelo, donde los contenidos bajos de arcilla y el escaso contenido de materia orgánica, juegan un papel sumamente importante. Porta *et al.* (2003), agregan que el agua disponible es un concepto útil en determinadas aplicaciones del agua, muy especialmente cuando se trata de los riegos por gravedad. Tanto Chicas *et al.* (2014) como Molfino y Califra (2001) coinciden en señalar que la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente sirven para obtener calcular la humedad asimilable que se encuentra en el suelo y que es conocida con agua disponible.

4.3.5. Lámina de agua

Las láminas de agua de los suelos del transecto Huaura-Mazo también son variables en función al porcentaje de arcilla y al contenido de materia orgánica y que estos suelos tengan la suficiente humedad disponible para las plantas se debe hacer un buen manejo de estas dos propiedades. La lámina de agua en los suelos en estudio se encuentran con valores más bajos en los suelos con textura gruesa, como es el caso de los puntos de muestreo PM01 y PM02, en ambas profundidades (de 0 a 20 y de 20 a 60 cm) y en el PM04 solamente en la capa profunda (20 a 60 cm) con 36,6 a 38,8 mm de espesor, seguidos de aquellos suelos de textura moderadamente fina como es el caso de los PM03, PM07 y PM08 en ambas profundidades, los PM05 y PM06 solo en la capa de 20 a 60 cm que tienen láminas de agua que varían de 43,5 a 46,1 mm, mientras que en los PM04, PM05 y PM06, solo en la capa superficial de 0 a 20 cm, tienen láminas de agua que varían de 49,1 a 50,8 mm, los mismos que se caracterizan por tener las texturas más finas cuando se comparan todos los suelos del transecto Huaura – Mazo.

Los resultados encontrados confirman que los suelos que tienen mayores contenidos de arcilla como parte de la clase textural, son los que mayores láminas de agua requieren para tener la suficiente humedad que requieren los cultivos que en estos suelos se puedan desarrollar, lo contrario sucede con los de texturas gruesas que requieren menores láminas de agua, tal como lo señalan Ortiz y Ortiz (1990). En consecuencia, los suelos de textura moderadamente gruesa y gruesa tendrán una menor capacidad de retener agua con un mayor porcentaje de lixiviación o lavaje, mientras que en los suelos de textura fina sucederá lo contrario, habrá una mayor retención de agua y menos lavaje, pero menor contenido de agua disponible para las plantas. Portocarrero (2015) agrega que el deficiente manejo de los páramos y bosques húmedos impactan negativamente en la disponibilidad hídrica, siendo los más afectados los usuarios de las zonas baja, como es el caso de los ríos Huaura y Chancay.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Como consecuencia de la discusión e interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

En el transecto Huaura – Mazo se han encontrados dos grupos de suelos:

1. Suelos de material parental constituido por lutitas calcáreas con escaso desarrollo pedogenético con perfiles del tipo Ap/C, de la clase A3swf(r), superficiales, moderadamente básicos, sin problemas de salinidad, con ligero riesgo de fijación de fósforo en aquellos suelos donde el contenido de carbonatos está sobre 5%, de baja fertilidad y con un moderado exceso de humedad y con napa freática casi superficial que impide un buen drenaje, con textura fina y con una capa subterránea endurecida que requiere de la práctica del subsuelo. Estos suelos requieren de riegos muy ligeros y distanciados por periodos largos y se encuentran en la terraza baja del transecto Huaura-Mazo.
2. Suelos de material parental constituido por areniscas con presencia de gravas, con escaso desarrollo pedogenético con perfiles del tipo Ap/C, de la clase A2sf(r), por ser superficiales, moderadamente básicos, sin problemas de salinidad, con ligero riesgo de fijación de fósforo debido a que el contenido de carbonatos está sobre el 5 %. Además, estos suelos son de baja fertilidad, sin exceso de humedad y con un nivel freático profundo que favorece un buen drenaje, la textura es gruesa, sin capas endurecidas por lo que no requieren de la práctica del subsolado. Estos suelos requieren riegos ligeros pero aplicados en periodos más cortos o más frecuentes, se encuentran en la terraza alta del transecto Huaura - Mazo.

Los resultados del análisis físico químico de los suelos del transecto Huaura – Mazo demuestran lo siguiente:

1. El pH es muy variable correspondiendo a suelos moderadamente básicos, sin problemas de sales, con bajo a medio contenido de carbonatos haciendo que en estos haya problemas de fijación del fósforo debido al pH alto, pero con una alta posibilidad para la siembra de muchas especies de plantas, incluso los más sensibles a la salinidad. Estos suelos además tendrán limitada disponibilidad de nitrógeno y fósforo como también deficiencias de hierro y manganeso.
2. La textura es variable, gruesa y fina, con bajo contenido de materia orgánica, pobres a medios en fósforo y medios a altos en potasio disponible, indicando que en los suelos de textura gruesa se deben aplicar riegos ligeros y frecuentes para evitar que se produzca un intenso lavaje mientras que en los suelos de textura fina el riego debe ser ligero pero más distanciados, debido a que estos suelos tienen mayor contenido de arcilla y un horizonte subterráneo compactado, acumula mayor humedad y dificulta el drenaje, haciendo que estos presenten una humedad excesiva. Al ser suelos de fertilidad natural pobre, se debe considerar la aplicación de un plan exigente de fertilización donde se incluya una buena dotación de materia orgánica.

Tipos de humedad que caracterizan a estos suelos:

1. La humedad del suelo es variable siendo más bajos en suelos de textura moderadamente gruesa y alta en suelos de textura fina. En consecuencia, los suelos de textura moderadamente gruesa y gruesa tendrán una menor capacidad de retener agua con un mayor porcentaje de lixiviación o lavaje, mientras que en los suelos de textura fina sucederá lo contrario, tendrán una mayor retención de agua y menos lavaje, pero menor contenido de agua disponible para las plantas.
2. Asimismo, el contenido de materia orgánica que es muy bajo en todos los suelos en estudio no mejorará la capacidad de retención de agua, haciéndose necesaria la adición de materia orgánica en cantidades que permitan elevar el contenido de este mejorador del suelo a por lo menos 2 %. Estos contenidos de humedad y de materia orgánica determinan la capacidad que tienen los suelos estudiados para retener la humedad hasta el nivel de agua disponible. El pH, salinidad, carbonatos, fosforo y potasio disponible, en este caso no son materia de estudio y por estar en niveles bajos a medios no tendrán influencia marcada sobre el agua disponible.

3. La capacidad de campo en los suelos de transecto Huaura – Mazo también es variable en función a la textura en concordancia con los bajos niveles de materia orgánica, lo que permite asumir que los suelos en estudio no almacenan agua en un nivel óptimo para el desarrollo normal de los cultivos, haciéndose necesaria de una aplicación eficiente de los riegos para evitar un mal drenaje en los suelos de textura fina o un intenso lavaje en los suelos de textura gruesa.
4. Algo similar sucede con el agua al punto de marchitez permanente donde tanto la textura, así como el escaso contenido de materia orgánica permiten que esta propiedad sea variable, encontrándose suelos con bajos a medianos contenidos de humedad, lo cual afectará significativamente en el crecimiento y desarrollo normal de los cultivos que se desarrollen en estos suelos.
5. En consecuencia, los niveles tanto de la humedad a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente determinan que los suelos del transecto tienen baja capacidad en el almacenamiento del agua disponible para las plantas, mereciendo una especial atención la programación de riegos oportunos para no afectar a los cultivos. Estas mismas razones han determinado que las láminas de agua calculadas para cada uno de estos suelos sean demasiado escasas, haciéndose evidente la necesidad de plantear un eficiente plan de riegos.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de aumentar la capacidad retentiva del agua en los suelos de transecto Huaura – Mazo, se recomienda mejorar los niveles de materia orgánica debiéndose llegar a por lo menos al 2 %, lo cual significa la aplicación entre 25 a 30 toneladas de estiércol por hectárea.
2. En los suelos del Grupo 1 que tiene un drenaje deficiente y una capa subterránea moderadamente compactada, se recomienda realizar un subsolado para disminuir el exceso de humedad que acumulan estos suelos, evitándose de esta manera afectar al normal desarrollo de las plantas susceptibles al exceso de humedad.
3. En los riegos a efectuarse en estos suelos debe tenerse en cuenta las características más notorias que afectan a esta práctica, sobre todo debe merecer una especial atención la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, para así evitar el exceso de agua con problemas de drenaje en los suelos de textura fina y un lavaje excesivo de las partículas finas y escasez de humedad en los suelos de textura fina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agorio, C., Cardellino, G., Corsi, W. y Franco, J. (1988). *Estimación de las necesidades de riego en Uruguay*. I. Magnitud y frecuencia de la lámina neta total. MGAP, Dirección General de Recursos Naturales renovables, División Uso y Manejo del Agua. Montevideo, Uruguay.
- Arshad, M. A., Lowery, B. y Grossman, B. (1996). Physical test for monitoring soil quality. En J. W. Doran, y A. J. Jones, *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 123-142). Madison, WI: *Soil Science Society of America*.
- Bullón, J. (1990). *Manejo de Suelos*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Programa Académico de Agronomía.
- Chicas, R., Venegas, E. y García, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. N° 1. Chiquimula, Guatemala.
- Corado, M. (2014). *Evaluación de cuatro Láminas de Riego por Goteo sobre el Rendimiento en el Cultivo de Plátano*. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar, Jutiapa, Guatemala. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/03/Corado-Maximino.pdf>
- Da Costa, A., Albuquerque, P., Da Costa, A., Pertile, P. y Rodríguez, F. (2013). Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: Effect of textural classes, soil classes and lithology. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*
- Dexter, A. R. y Birkás. (2004). Prediction of the soil structures produced by tillage. *Soil and Tillage Research*. 2 SPEC.ISS. Szent István University, Hungary. 233-238 p. Recuperado de: <https://hungary.pure.elsevier.com/en/publications/prediction-of-the-soil-structures-produced-by-tillage>
- Domingo, J., Fernández, R., Corral, E. y Rapp, I. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigación Agraria: Sistema Recursos Forestales*, 15(1), 14-23.
- Domínguez, A. (1997). *Tratado de fertilización*. 3ra. edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Donahue, R., Miller, R. y Shickluna, J. (1998). *An Introduction to soils and plant growth*. New Jersey, NJ: Prentice-Hall.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2ª ed.). San José, Costa Rica.
- Fuentes, Y. (1998). *El suelo y los fertilizantes*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Génova, L. (2002). Riego. Oferta y demanda hídricas. Metodología para evaluar la disponibilidad de agua superficial y subterránea. *Artículo Científico*. Buenos Aires Argentina.
- Génova, L. (1995). Riesgo complementario de cultivos extensivos: pautas para su adopción. *Procampo*, 4(24), 8-12. Buenos Aires, Argentina.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Edición. Mc Graw Hill Educación. México. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/70etodología-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huerta, C. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro y su relación en el crecimiento bacteriano* (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Recuperado de <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>
- Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1997). *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*. Quito, Ecuador: INPOFOS.
- Israelsen, O. y Hansen, V. (1979). *Principios y aplicaciones del riego*. Riverté. Barcelona, España.
- Jordán, A. (2010). *Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Joseph, M. (2010). *A study on the water retention characteristics of soils and their improvements*. Division of Civil Engineering School of Engineering. Cochin University of Science and Technology. Thesis of the degree of Doctor of philosophy. Kochi, Kerala, India.

- Keller, T. y Hakanssona, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3), 398-406.
- Lowery, B., Datiri, B. y Andraski, J. (1986). A continuous recording system for tensiometers. *Soil Science Society of America Journal*, 494-496.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2001). Principios de Nutrición Vegetal. International Potash Institute. Schneidergasse, Switzerland.
- Miliarium. (2008). Evapotranspiración. Recuperado de:
<http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Memoria/Evapotranspiracion/evapotranspiracion...> - 45k -
- Molfino, J. y Califra, A. (2001). *Agua disponible de las tierras del Uruguay*. División Suelos y Aguas. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Recuperado de <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807174344.pdf>
- Navarro, J. (2003). Efecto de Cuatro Láminas de Riego sobre el Rendimiento de Plátano (*Musa paradisiaca*, variedad Currare) Bajo las condiciones de Aldea Los Encuentros, Coatepeque, Quetzaltenango. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2010.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003). *Mejorar la tecnología de riego*. Enfoques. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp3.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua para los cultivos. Roma, Italia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *Estudio detallado de los árboles, bosques y el uso de la tierra en las zonas áridas del planeta*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/426108/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Propiedades Físicas del Suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

- Ortiz, V. B. y Ortiz, C. A. (1990). *Edafología, suelos*. 7ma. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Plaster, E. J. (2000). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. Trad. P Scott. 2da. Reimpresión. International Thomson Editores, Madrid, España. 426 p.
- Porta, J., López Acevedo, M. y Roquero, C., (2003). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 3ra. Edición. Mundi-Prensa Libros S. A. Madrid, España.
- Portocarrero, C. (2015). Los valores del páramo y los bosques de neblina. Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID). *LEISA. Revista de Agroecología*, 31(3), 10-11.
- Rojas, J.M. (2013). Densidad Aparente, comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa. Centro Regional Chaco, Formosa. Revista de la Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña. Argentina
- Sánchez, N. L. (2013). *Granulometría. Ingeniería y Construcción*. Recuperado de Civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-suelos-ing-nestor-luis-sanchez/>
- Sánchez, P., Palm, C. y Buol, S. (2003). Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114(3), 157-185.
- Sawchik, J. (2000). Algunos conceptos básicos para el manejo del riego. INIA-GRAS, Montevideo, Uruguay.
- Schoeneberger, P., Wysocki, D. y Benham, E. (1998). Field book for describing and sampling soils. Lincoln, NE.: Natural Resources Conservation Service, USDA National Soil Center. USA.
- Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América. (1980). Manual de Conservación de Suelos. 3ra. edición. Limusa. México D.F., México.
- 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, Facultad de Agronomía, Universidad de la República (10)*. Uruguay.

- Sys, C., Van Ranst, E. y Debaveye, J. (1991). *Land Evaluation. Part II. Methods in Land Evaluation*. International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists. University of Ghent. Ghent, Belgium.
- Taboada, M. y Álvarez, C. (2008). *Fertilidad física de los suelos*. 2da. edición. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina.
- United States Department of Agriculture. (2008). *Aggregate Stability. Soil Quality Indicators*. Recuperado de:
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053287.pdf
- Vela, G., López, J. y Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el suelo de conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas* (77), 18-30. Recuperado de:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100003
- Ventocilla, J. T. (2015). *Clasificación de la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo” por el método de capacidad-fertilidad. Végueta-Huaura*. (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huacho, Lima, Perú.
- Weil, R.R. y Brady, N.C. (2010). *The nature and properties of Soils*. Pearson. Harlow, England:
- Zavaleta, A. (1992). *Edafología: el suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Lima, Perú.

TERMINOLOGÍA

- **Déficit Hídrico:** El déficit hídrico se refiere a condiciones en que las plantas están recibiendo menos agua de la que necesitan. El déficit hídrico produce varias respuestas en las plantas, o respuestas que en algunos casos pueden darse rápidamente. Por ejemplo, con déficit de agua relativamente cortos, las láminas foliares se doblan y disminuyen la transpiración, el área y el volumen foliar, y la densidad estomática; también disminuye la rehidratación de la planta durante la noche. El parámetro que se reduce primero es el alargamiento de la hoja. Un déficit moderado puede retrasar el crecimiento en una hoja por mes; también reduce la vida de las hojas más viejas (Navarro, 2003).
- **Densidad Aparente del Suelo:** Está definida como la relación de la masa del suelo por unidad de volumen en su estado natural en el campo, incluyendo el espacio que ocupa el aire y la materia mineral, más las sustancias orgánicas. Valores altos de densidad aparente pueden restringir el movimiento de agua superficial a través del suelo, llevando a una pérdida de nutrientes por lavaje. Esto puede también incrementar los porcentajes de erosión (Arshad *et al.*, 1996).
- **Infiltración del Agua:** La infiltración es definida como el proceso por el cual el agua entra al suelo. Su porcentaje depende del tipo de suelo, de la estructura y del contenido de agua en el suelo. La infiltración es importante en la reducción de la escorrentía y la consecuente erosión del suelo. El incremento de la compactación del suelo y la pérdida de la estructura superficial (reducción de la agregación), son los principales factores en la reducción del porcentaje de la infiltración del agua en los suelos. Tales porcentajes dependientes de la ocurrencia de los poros que ocupan la parte más superior del suelo que dependen de la textura del suelo en primer lugar (Lowery *et al.*, 1996).
- **Capacidad Retentiva del Agua:** A nivel de capacidad de campo es la cantidad de agua que el suelo puede mantener después de haber sido saturado y luego sometido al drenaje libre por un periodo de dos o tres días. Esta capacidad retentiva depende también de la textura del suelo. Esta capacidad es aumentada por la adición de enmiendas orgánicas y por las labranzas de conservación, la labranza convencional resulta en una reducción de la capacidad retentiva de agua (Ortiz y Ortiz, 1990).

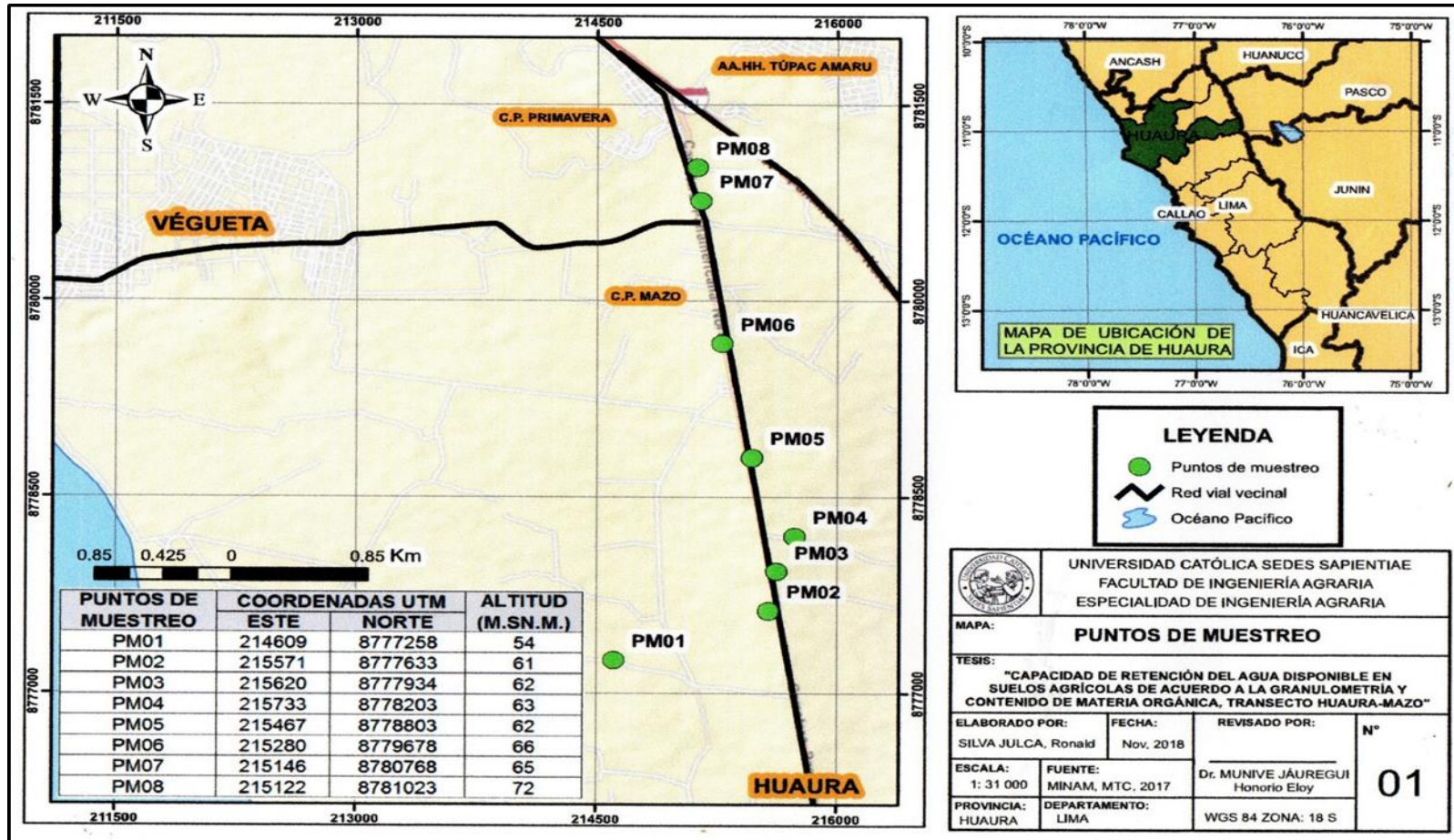
- **Fotosíntesis:** Es el proceso por el cual las plantas verdes capturan la energía de luz para combinar agua y dióxido de carbono y formar carbohidratos. Se requiere del pigmento denominado clorofila para la conversión de la energía de la luz en energía química (Instituto del Fósforo y la Potasa [INPOFOS], 1997).
- **Coefficiente del Cultivo:** El coeficiente de cultivo (K_c) es la relación que existe entre la Evapotranspiración real (E_{Tc}) de cada cultivo específico y la evapotranspiración de referencia E_{TO} en esas mismas condiciones, y en ese mismo microclima. Es por tanto un número adimensional (normalmente entre 0,1 y 1,2) que multiplicado por el valor de E_{TO} da como resultado evapotranspiración para cada cultivo (E_{Tc}) (Sistema Nacional de regadíos [SIAR], s/f).
- **Unidad Cartográfica:** Un mapa de suelos muestra la distribución de las diferentes clases de suelos y áreas misceláneas en el paisaje utilizando unidades cartográficas de suelos. En los estudios cartográficos conviene distinguir tres conceptos referidos al suelo: el suelo como cuerpo natural (ente real que podemos muestrear), el tipo de suelo (la clase taxonómica, según la clasificación utilizada) y la unidad cartográfica: mancha cartográfica que representa el área que ocupa el suelo (Ortiz y Ortiz, 1990).
- **Agricultura de Riego:** La agricultura de riego ha impulsado gran parte del incremento de la producción mundial de alimentos en los últimos decenios. Si bien sólo el 20 % de las tierras agrícolas del planeta cuentan con irrigación, en ellas se produce el 40 % de nuestro suministro de alimentos. Los rendimientos más altos obtenidos en la agricultura de riego duplican con creces los rendimientos más altos de la agricultura de secano, e incluso los cultivos de riego que consumen pocos insumos son más productivos que los de secano que consumen muchos insumos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2003).
- **Evapotranspiración (ET):** Es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha y lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas. La

evapotranspiración constituye la transferencia total de agua desde una superficie vegetada a la atmósfera (Miliarium, 2008).

- **Evapotranspiración Potencial (ETP):** Existe acuerdo entre los diversos autores al definir la ETP, como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente de las condiciones meteorológicas climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación (FAO, 2006).
- **Déficit Hídrico:** El déficit hídrico se refiere a condiciones en que las plantas están recibiendo menos agua de la que necesitan. El déficit hídrico produce varias respuestas en las plantas. Por ejemplo, con déficit de agua relativamente cortos, las láminas foliares se doblan y disminuyen la transpiración, el área y el volumen foliar, y la densidad estomática; también disminuye la rehidratación de la planta durante la noche. El parámetro que se reduce primero es el alargamiento de la hoja. Un déficit moderado puede retrasar el crecimiento en una hoja por mes; también reduce la vida de las hojas más viejas (Navarro, 2003).
- **Degradación de Suelos:** Es el proceso simple causado por la mano del hombre y que afecta la capacidad del suelo para sostener la vida dentro de un ecosistema. Este proceso disminuye la capacidad de almacenamiento y del reciclaje del agua, así como produce pérdida de la materia orgánica y de los nutrientes del suelo, a causa de la pérdida de importantes propiedades del suelo originada por un deficiente uso y manejo (Fuentes, 1998).

APÉNDICES

Apéndice 1. Croquis y puntos de muestreo del transecto Huaura-Mazo



Fuente: Elaboración propia

Apéndice 2. Tablas para la interpretación de los resultados del análisis de suelos

1) Textura

Tipo de Textura	Clase Textural
Gruesa	Arena, arena franca
Moderadamente gruesa	Franco arenosa
Media	Franca, franco limoso, limosa
Fina	Franco arcillosa, franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa, arcillo arenosa, arcillo limosa, arcilla
Muy fina	Mayor de 60% de arcilla

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

2) pH

Definición	Rango de pH
Ultra ácido	< 3,5
Extremadamente ácido	3,5 a 4,4
Muy fuertemente ácido	4,5 a 5,0
Fuertemente ácido	5,1 a 5,5
Moderadamente ácido	5,6 a 6,0
Ligeramente ácido	6,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente básico	7,4 – 7,8
Moderadamente básico	7,9 – 8,4
Fuertemente básico	8,5 – 9,0
Muy fuertemente básico	> 9,0

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

3) Conductividad eléctrica (mmhos/cm o dS.m⁻¹)

Definición	Rango de salinidad
No salino	< de 4
Muy ligeramente salino	4 – 8
Ligeramente salino	8 – 12
Moderadamente salino	12 – 15
Fuertemente salino	> 15

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

4) Materia orgánica

Definición	%	g.kg ⁻¹
Bajo	< de 2	< de 20
Medio	2 – 4	20 – 40
Alto	> de 4	> de 40

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

5) Calcáreo total (%)

Definición	Rango de calcáreo total
Bajo	< de 1
Medio	1 – 5
Alto	5 – 15 (precipita al P)
Muy alto	> de 15 (tóxico para las plantas)

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

6) Fósforo disponible (ppm o mg.kg⁻¹)

Definición	Rango de P (ppm o mg.kg ⁻¹)
Bajo	0 – 6
Medio	7 – 14
Alto	> de 14

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

7) Potasio disponible

Definición	ppm o mg.kg ⁻¹	kg.ha ⁻¹
Bajo	0 – 75	0 – 300
Medio	75 – 125	300 – 600
Alto	125 – 250	> de 600
Muy alto	> de 250	

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

8) Capacidad de intercambio catiónico (me/100 g o cmol(+).kg⁻¹)

Definición	Rango de CIC
Muy baja	< de 4
Moderadamente baja	4 – 8
Baja	8 – 12
Moderadamente alta	12 – 20
Muy alta	> de 20

Fuente: Schoeneberger *et al.* (1998).

Apéndice 3. Densidad aparente de los suelos del transecto Huaura – Mazo

Calicata	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (g.cm ⁻¹)
01	0 – 20	1,49
	20 – 60	1,43
02	0 – 20	1,45
	20 – 60	1,47
03	0 – 20	1,47
	20 – 60	1,40
04	0 – 20	1,49
	20 – 60	1,36
05	0 – 20	1,51
	20 – 60	1,34
06	0 – 20	1,32
	20 – 40	1,35
07	0 – 20	1,36
	20 – 60	1,32
08	0 – 20	1,35
	20 – 60	1,36

Fuente: Elaboración propia.

La densidad aparente de los suelos en estudio fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{\text{Masa (Peso) Suelo (gramos)}}{\text{Volumen Total del Suelo (cm}^3\text{)}}$$

Apéndice 4. Resultados del análisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS DE SUELO - FERTILIDAD

SOLICITANTE : RONALD SILVA SULCA
 PROCEDENCIA : LIMA/ HUAURA/ VEGUETA/ MAZO
 REFERENCIA : H.R. 63810
 FECHA : 19/06/2018

Número Muestra		pH	CE _(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Al ³⁺ + H ⁺
Lab	Claves	(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	meq/100
283	C1 AP	8.15	0.33	1.9	0.99	7.6	87	0
284	C1 AC	8.44	0.25	2.4	0.48	6.8	85	0
285	C2 AP	8.45	0.49	4	0.97	11.2	182	0
286	C2 AC	8.5	0.21	2.1	0.5	4.4	81	0
287	C3 AP	8.11	0.47	3.8	1.08	20.8	151	0
288	C3 AC	8.2	0.46	4.9	0.57	17.2	131	0
289	C4 AP	8.32	0.4	7.2	1.03	10	128	0
290	C4 AC	8.36	0.48	5.4	0.72	5.4	92	0
291	C5 AP	8.41	0.45	5.1	0.96	9.9	100	0
292	C5 AC	8.22	0.63	7.2	0.58	3.1	90	0
293	C6 AP	8.26	0.34	10	0.98	13.7	138	0
294	C6 AC	8.33	0.44	12.4	0.55	7.1	86	0
295	C7 AP	8.24	0.51	6.7	1.08	5.8	72	0
296	C7 AC	8	1.06	7.2	0.94	3.4	62	0
297	C8 AP	8.13	0.62	7.2	1.19	11.4	72	0
298	C8 AC	8.36	0.32	5.7	0.81	2.7	42	0


 Sr. Ronald Silva Sulca
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : RONALD SILVA SULCA

PROCEDENCIA : LIMA/ HUAURA/ VEGUETA/ MAZO

REFERENCIA : H.R. 63810

FECHA : 19/06/2018

Número Muestra		Arena	Limo	Arcilla	Clase
Lab	Claves	%	%	%	Textural
283	C1 AP	73	10	17	Fr.A
284	C1 AC	71	12	17	Fr.A
285	C2 AP	70	14	16	Fr.A
286	C2 AC	81	10	9	A.Fr.
287	C3 AP	51	24	25	Fr.Ar.A
288	C3 AC	25	42	33	Fr.A
289	C4 AP	53	24	23	Fr.Ar.A
290	C4 AC	25	40	35	Fr.Ar
291	C5 AP	73	22	15	Fr.A
292	C5 AC	26	38	36	Fr.Ar
293	C6 AP	17	30	33	Ar
294	C6 AC	23	32	45	Fr.Ar
295	C7 AP	30	40	30	Fr.Ar
296	C7 AC	20	34	37	Fr.Ar
297	C8 AP	32	36	32	Fr.Ar
298	C8 AC	31	35	34	Fr.Ar

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Sagr. García Bendezu,
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Apéndice 5. Fichas de Descripción de los perfiles

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: 01 Serie..... GUADALUPE 1
 Asociación: Clasificación técnica A3SWF
 Clasificación natural AZONAL Clasificación taxonómica ENTISOL
 Material madre LUTITA CALCAREA Precipitación Temperatura
 Fisiografía TERRAZA BAJA Vegetación o cultivo MAIZ
 Relieve ONDULADA Permeabilidad MODERADO
 Altitud 54 M.S.N.M Drenaje MODERADO X
 Pendiente LIGERAMENTE INCLINADA Escorrentía superficial LENTA
 Erosión MODERADA Napa freática LIGERAMENTE PROFUNDO
 Distribución de raíces SUPERFICIAL Humedad NORMAL (SUPERIOR) EXCESIVO (INFERIOR)
 Salinidad Porosidad MODERADA
 Pedregosidad 5% Alcalinidad —

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₂	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-30	2.5 YR	4/2		—	bsm	MODERADA					DIFUSO
AC	30-55	2.5 YR	3/1		—	bag	FIRME					ABRUPTO
C	+55											

c) Observaciones

.....
 2.5 YR 4/2 → ROJO DEBIL
 2.5 YR 3/1 → GRIS ROSADO OSCURO

 °S PROBLEMAS DE DRENAJE A PARTIR DE LOS 55 cm.

 Foto N°: UTM: E: 214609 N: 8777258

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: <u>02</u>	Serie: <u>GUADALUPE 2</u>
Asociación:	Clasificación técnica: <u>A3 SFW</u>
Clasificación natural: <u>INTRAZONAL</u>	Clasificación taxonómica: <u>ENTISOL</u>
Material madre: <u>LUTITA CALCÁREA</u>	Precipitación Temperatura
Fisiografía: <u>TERRAZA</u>	Vegetación o cultivo: <u>PASTO NATURAL</u>
Relieve: <u>ONDULADO</u>	Permeabilidad: <u>DEFICIENTE</u>
Altitud: <u>61 M.S.N.M.</u>	Drenaje: <u>IMPERFECTO</u>
Pendiente: <u>LIGERAMENTE INCLINADA</u>	Escorrentía superficial: <u>LENTA</u>
Erosión: <u>LIGERA</u>	Napa freática: <u>CASI SUPERFICIAL</u>
Distribución de raíces: <u>SUPERFICIAL</u>	Humedad: <u>EXCESIVA</u>
Salinidad: <u>-</u>	Porosidad: <u>DEFICIENTE</u>
Pedregosidad: <u>-</u>	Alcalinidad: <u>-</u>

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₂	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-27	10YR	3/2		-	bsm	Firme					DIFUSO
AC	27-70	10YR	4/2		-	columnar	Moderada					ABRUPTO
C	70											

c) Observaciones

.....
 10YR 3/2 → MARRÓN GRISACEO TUV OSCURO
 10YR 4/2 → MARRÓN GRISACEO OSCURO

 Foto N°: UTM: E: 215571 N: 8777633

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: 03 Serie: EL SOL 1
 Asociación: Clasificación técnica A3SFW
 Clasificación natural AZONAL Clasificación taxonómica ENTISOL
 Material madre LITITA CALCÁREA Precipitación Temperatura
 Fisiografía TERRAZA BAJA Vegetación o cultivo CAMOTE
 Relieve ONDULADO Permeabilidad MODERADA
 Altitud 62 M.S.N.M. Drenaje MODERADO
 Pendiente LIGERAMENTE INCLINADA Escorrentía superficial LENTA
 Erosión MUY LIGERA Napa freática CASI SUPERFICIAL
 Distribución de raíces SUPERFICIAL Humedad EXCESIVA
 Salinidad - Porosidad MODERADA
 Pedregosidad 50% Alcalinidad -

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₃	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-30	10YR	3/2		bsm	FIRME						DIFUSO
AC	30-65	10YR	3/4		bag	MUY FIRME						DIFUSO
C	+65											

c) Observaciones

10YR 3/2 → MARRÓN GRISACEO OSCURO
 10YR 3/4 → MARRÓN AMARILLENTO OSCURO
 So bag → BLOQUES ANGULARES GROSOS
 Foto N°: UTM: E: 215620 N: 8777934

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: 04	Serie..... EL SOL 2
Asociación: -	Clasificación técnica A3SNF
Clasificación natural AZONAL	Clasificación taxonómica ENTISOL
Material madre LOTITA CALÁREA	Precipitación Temperatura
Fisiografía TERRAZA BAJA	Vegetación o cultivo CANOTE
Relieve LIGERAMENTE ONDULADO	Permeabilidad MODERADA
Altitud 63 M.S.N.M	Drenaje POBREMENTE DRENADO
Pendiente LIGERAMENTE INCLINADA	Escorrentía superficial MUY LENTA
Erosión MUY LIGERA	Napa freática CASI SUPERFICIAL
Distribución de raíces 40 cm	Humedad EXCESIVA
Salinidad -	Porosidad MODERADA
Pedregosidad -	Alcalinidad -

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₃	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-30	7.5	YR 3/1		5% GRAVA	GRANULAR		FRIABLE				DIFUSO
Ac	30-60	7.5	YR 3/2		5% GRAVA	bsm		FIRME				DIFUSO
C	+60	10	YR 4/3									

c) Observaciones

.....
 C: ARCILLA

 7.5 YR 3/1 → A GRIS MUY OSURO

 7.5 YR 3/2 → B MARRÓN OSCURO

 10 YR 4/3 → A MARRÓN CON MOTEADURAS

 5% PROBLEMAS DE DRENAJE

 Foto N°: UTM: E: 215733 N: 8778203

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: 05	Serie: EL SOL 3
Asociación: -	Clasificación técnica ... A35FW
Clasificación natural ... AZONAL	Clasificación taxonómica ... ANTISOL
Material madre ... LUTITA CALCÁREA	Precipitación Temperatura
Fisiografía ... TERRAZA BAJA	Vegetación o cultivo ... MAÍZ
Relieve ... LIGERAMENTE ONDULADO	Permeabilidad ... MODERADA
Altitud 62 M.S.N.M	Drenaje ... LIGERAMENTE BIEN DRENADO
Pendiente ... LIGERAMENTE INCLINADA	Escurritia superficial ... LENTA
Erosión MUY LIGERA	Napa freática PROFUNDO
Distribución de raíces ... SUPERFICIAL	Humedad DEFICIENTE
Salinidad -	Porosidad ... MODERADA
Pedregosidad -	Alcalinidad -

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₂	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-40	7.5	YR 3/2		-	bam	FIRME					ABRUPTO
AC	40-93	7.5	YR 3/3		-	bam	FIRME					ABRUPTO
C	+93	10	YR 3/6									

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 3/2 → MARRÓN OSCURO
 7.5 YR 3/3 → MARRÓN OSCURO
 10 YR 3/6 → MARRÓN AMARILLENTO OSCURO
 ⚠️ PROBLEMAS DE DRENADO A 1cm DE PROFUNDIDAD

 Foto Nº: UTM: E: 215467 N: 8778803

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: 06	Serie..... EL SOL 4
Asociación:	Clasificación técnica A
Clasificación natural AZONAL	Clasificación taxonómica ... ANTISOL
Material madre AROLLA PEDREGOSA	Precipitación Temperatura
Fisiografía TERRAZA MEDIA	Vegetación o cultivo TIAIZ
Relieve ONDULADA	Permeabilidad MODERADA
Altitud 66 M.S.N.M	Drenaje LIGERAMENTE BIEN DRENADO
Pendiente MODERADAMENTE INCLINADA	Escorrentía superficial LENTA
Erosión LIGERA	Napa freática PROFUNDA
Distribución de raíces SUPERFICIAL	Humedad DEFICIENTE
Salinidad -	Porosidad MODERADA
Pedregosidad 5%	Alcalinidad -

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₂	Límite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-40	7.5	YR 3/2		GRAVA	bsm	MODERADA					CLARO
AC	40-80	7.5	YR 4/4		GRAVA	bam	FIRME					ABRUPTO
C	+80											

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 3/2 → MARRÓN OSCURO
 7.5 YR 4/4 → MARRÓN
 bsm → BLOQUES SUBANGULARES MEDIOS
 bam → BLOQUES ANGULARES MEDIOS

 Foto N°: UTM: E° 215280 N° 8779678

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: 07 Serie: LA NORALLA
 Asociación: Clasificación técnica AZSF
 Clasificación natural AZONAL Clasificación taxonómica ENTISOL
 Material madre ARENA PEDREGOSA Y GRAVOSO Precipitación Temperatura
 Fisiografía TERRAZA MEDIA Vegetación o cultivo ENI DESCANSO
 Relieve LIGERAMENTE ONDULADO Permeabilidad MODERADA
 Altitud 65 M.S.N.M. Drenaje BUENO
 Pendiente LIGERAMENTE INCLINADA Escorrentía superficial LENTA
 Erosión FLOT. LIGERA Napa freática PROFUNDA
 Distribución de raíces MEDIA Humedad DEFICIENTE
 Salinidad — Porosidad MODERADA
 Pedregosidad 5% Alcalinidad —

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₃	Limite
		H	S				H	S	M			
Ap	0-50	5YR	3/2		GRAVA 5%	baf	MODERADA					ABRUPTO
Ac	50-90	10YR	5/4		—	LAMINAR	MODERADA					ABRUPTO
C	+90	10YR	4/4		—							

c) Observaciones

.....
 5YR 3/2 → MARRÓN ROJISO OSCURO
 10YR 5/4 → MARRÓN AMARILLENTO
 10YR 4/4 → MARRÓN AMARILLENTO OSCURO
 0% baf → BLOQUES ANGULARES FINOS

 Foto N°: UTM: E³ 215146 N³ 8780768

Fuente: Elaboración propia.

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: 08 Serie.....
 Asociación: Clasificación técnica A2.S.F.....
 Clasificación natural AZONAL Clasificación taxonómica ENTISOL.....
 Material madre ARENISCA Precipitación Temperatura
 Fisiografía TERRAZA ALTA Vegetación o cultivo HORTAIZAS Y PASTOS NATURALES
 Relieve PLANO Permeabilidad MODERADA
 Altitud 72 M.S.N.M Drenaje BUENO
 Pendiente LIGERAMENTE INCLINADA Escorrentía superficial LENTA
 Erosión MUY LIGERA Napa freática PROFUNDA
 Distribución de raíces SUPERFICIAL Humedad NORMAL
 Salinidad - Porosidad BUENA
 Pedregosidad LIGERA Alcalinidad -

b) Descripción del perfil

Hor.	Prof. (cm)	Color		Text.	Mod. Text	Estruc.	Consistencia			pH	CO ₃	Límite
		(H)	S				H	S	M			
Ap	0-30	10YR	3/4		GRAVA 5%	GRANULAR	F	B	B			DIFUSO
Ac	30-75	10YR	3/3		-	b sm			MODERADA			
C	+75	5YR	3/2									

c) Observaciones

10YR 3/4 → MARRÓN AMARILLENTO OSCURO
 10YR 3/3 → MARRÓN OSCURO
 5YR 3/2 → MARRÓN ROSADO OSCURO
 b sm → BLOQUES SUBANGULARES MEDIOS
 Foto N°: UTM: E 215122 N 8781023

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 6. Fotografías relacionadas con el desarrollo de la investigación



1. Construcción de la calicata



2. Descripción del perfil del suelo



3. Explicación sobre la descripción del perfil



4. Rellenado de la calicata



5. Secado de muestras en Laboratorio FIAH/UCSS



6. Tamizado de muestras en Laboratorio FIAH/UCSS